

Aus dem Institut für Pflanzenernährung der Justus-Liebig-Universität Gießen

**Der extrahierbare organische Stickstoff und Kohlenstoff in Böden
und ihre Bedeutung für die Stickstoffmineralisation, untersucht
mittels Elektro-Ultrafiltration (EUF)**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. agr.) beim Fachbereich
Agrarwissenschaften der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von
Dipl.-Ing. agr. Ardian Maci
aus Tirana/Albanien

Gießen 2001

Aus dem Institut für Pflanzenernährung der Justus-Liebig-Universität Gießen

Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. S. Schubert

**Der extrahierbare organische Stickstoff und Kohlenstoff in Böden
und ihre Bedeutung für die Stickstoffmineralisation, untersucht
mittels Elektro-Ultrafiltration (EUF)**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. agr.) beim Fachbereich
Agrarwissenschaften der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von
Dipl.-Ing. agr. Ardian Maci
aus Tirana/Albanien
Gießen 2001

Dekan: Prof. Dr. P. M. Schmitz

1. Gutachter: Prof. Dr. Dr. h.c. K. Mengel

2. Gutachter: Prof. Dr. P. Felix-Henningsen

Tag der Disputation: 08.08.2001

Meiner Familie

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	1
2. Material und Methoden	7
2.1 Laborversuche	7
2.1.1 Beschreibung der Versuchsböden	7
2.1.2 Versuchsdurchführung	8
2.1.3 Untersuchungsmethoden	8
2.1.3.1 Allgemeine Analysen zur Bodencharakteristik	8
2.1.3.2 Methoden zur Stickstoffextraktion	10
2.1.3.2.1 Nmin-Analyse	10
2.1.3.2.2 Analyse der N-Fractionen im CaCl ₂ -Extrakt und Berechnung der Netto-N-Mineralisation im Boden	11
2.1.3.2.3 EUF-Methode	11
2.1.3.2.4 Analyse der N-Fractionen im EUF-Extrakt	12
2.1.3.3 Amino-N-Bestimmung in EUF-Extrakten ohne Anwendung der Hydrolyse	13
2.1.3.3.1 Vorversuche	14
2.1.3.3.2 Proteinbestimmung in Eichlösung nach Bradford. Einfluß von NH ₄ ⁺ auf den Proteingehalt der Eichlösung	14
2.1.3.3.3 Proteinbestimmung in EUF-Extrakten nach Bradford.	16
2.1.3.3.4 Ninhydrin Methode	17
2.1.3.3.4.1 Bestimmungsverfahren	19
2.1.3.3.4.2 α -Amino-N-Bestimmung in EUF-Extrakten	20
2.1.3.4 Verwendung der Polysulfon Filter im EUF-Extraktionsverfahren	21
2.1.3.4.1 Durchführung der EUF-Analyse mit Polysulfon Filtern	22
2.1.3.4.2 Ninhydrinpositiv-N-Bestimmung in den mit Polysulfon Filtern erhaltenen EUF-Extrakten	22

	Seite
2.1.3.4.3	23
<p>2.1.3.4.3 EUF-Extraktion mit Zellulosetriacetat- und Polysulfon Filtern der 11 Böden aus Belgien</p>	
2.2	24
<p>Gefäßversuch zur Ermittlung des N-Mineralisierungspotentials von 20 Böden</p>	
2.2.1	24
2.2.2	25
2.2.3	27
2.2.3.1	27
2.2.3.2	28
2.2.3.3	28
2.2.3.4	29
2.2.3.5	30
2.3	31
<p>Auswertung und Statistik</p>	
3.	33
<p>Ergebnisse der Laborversuche</p>	
3.1	33
3.2	34
3.3	36
3.4	39
3.5	41
3.6	44
3.6.1	44

	Seite	
3.6.2.	Beziehungen zwischen verschiedenen Bodenkenndaten und den Stickstofffraktionen in „Polysulfon“ EUF-Extrakten	50
3.6.3	Beziehungen der Norg-Fraktion der „Polysulfon“ EUF-Extrakte zur Netto-N-Mineralisation während der Inkubationsperiode	52
3.7	EUF-Norg-Gehalte in den „Zellulosetriacetat“- und „Polysulfon“-Extrakten der belgischen Böden und ihre Beziehungen zur Netto-N-Mineralisation	54
4.	Ergebnisse des Gefäßversuches	60
4.1	Verlauf der EUF-N-Fraktionen während der Versuchsdauer	60
4.2	Verlauf von EUF-Corg während der Versuchsdauer	67
4.3	Verlauf des nicht austauschbaren NH_4^+ in Böden während der Versuchsdauer	69
4.4	N-Aufnahme der Pflanzen	71
4.5	Netto-N-Mineralisation der bewachsenen Böden bis zu Versuchsende	74
4.6	Beziehungen allgemeiner Bodenkenndaten zum Verlauf der EUF-N-Fraktionen über fünf Termine	75
4.7	Beziehungen allgemeiner Bodenkenndaten zum Verlauf der Corg-Gehalte der EUF-Fraktionen über fünf Termine	81
4.8	Beziehungen allgemeiner Bodenkenndaten zur N-Aufnahme der Pflanzen und zur Netto-N-Mineralisation	83
4.9	Beziehungen allgemeiner Bodenkenndaten zum Verlauf des fixiertem NH_4^+ in den Böden über den gesamten Versuchszeitraum	84
4.10	Beziehungen zwischen Corg- und Norg-Gehalte in den EUF-Extrakten während der Versuchsdauer	85
4.11	Beziehungen zwischen Corg- und Nmin-Gehalte in den EUF-Extrakten während der Versuchsdauer	86
4.12	Beziehungen zwischen fix.- NH_4^+ - und EUF- NH_4^+ -Gehalte während der Versuchsdauer	89
4.13	Beziehungen der Nmin-Gehalte in den EUF-Extrakten zur N-Aufnahme der Pflanzen und zur Netto-N-Mineralisation während der Versuchsdauer	91
4.14	Beziehungen der Norg-Gehalte in den EUF-Extrakten zur N-Aufnahme der Pflanzen und zur Netto-N-Mineralisation während der Versuchsdauer	95
4.15	Beziehungen der Corg-Gehalte in den EUF-Extrakten zur N-Aufnahme	

	Seite
	97
4.16	98
5.	100
5.1	100
5.2	105
5.3	111
6.	118
7.	119
8.	124
9.	138

Verzeichnis der Tabellen:

	Seite
Tab. 1: Bodenkenndaten der 13 Versuchsböden zu Versuchsbeginn (April 1996)	7
Tab. 2: Einfluß von NH_4^+ auf den Proteingehalt (BSA) der Eichlösung	15
Tab. 3: Die Extinktionen der EUF-Extrakte nach der Bradford-Methode	16
Tab. 4: Bodenkenndaten der 20 Versuchsböden zu Versuchsbeginn (April 1998)	24
Tab. 5: Probenahmeterminen während der Versuchsdauer	26
Tab. 6: Konzentrationen an NH_4^+ -N, NO_3^- -N und Norg in den EUF-Extrakten der $20^\circ\text{C}+80^\circ\text{C}$ Fraktion zu Versuchsbeginn (mg N kg^{-1} Boden).	33
Tab.7: Nmin-Konzentrationen der feuchten Böden zu Versuchsbeginn (T_0) sowie zum jeweiligen Probenahmetermin (T_x) und Netto-Nmin (mg N kg^{-1} Boden)	34
Tab.8: N-Mineralisationsraten der Versuchsböden zwischen den sechs Nmin-Probenahmeterminen von T_0 bis T_{61} (mg N kg^{-1} Boden Tag^{-1})	35
Tab. 9: α -Amino-N und sein Anteil an Norg in den EUF-Extrakten der 20°C Fraktion zu Versuchsbeginn (mg N kg^{-1} Boden)	37
Tab. 10: α -Amino-N und sein Anteil an Norg in den EUF-Extrakten der $20^\circ\text{C} + 80^\circ\text{C}$ Fraktion zu Versuchsbeginn (mg N kg^{-1} Boden)	38
Tab. 11: Korrelationskoeffizienten (r) verschiedener Bodenkenndaten vs. organische N-Verbindungen der EUF-Extrakte der Böden zu Versuchsbeginn (T_0); $n=13$	39

	Seite	
Tab. 12:	Korrelationskoeffizienten (r) der organischen N-Fractionen in EUF-Extrakten zu den Netto-N-Mineralisationsraten benachbarter Termine im Verlauf der Netto-N-Mineralisation über 6 Termine; $n=13$	42
Tab. 13:	Korrelationskoeffizienten (r) verschiedener Bodenkenndaten zu Versuchsbeginn <i>versus</i> Netto-N-Mineralisation; $n=13$	43
Tab. 14:	Tonfraktion und die Volumina der mit Polysulfon Filtern erhaltenen EUF-Extrakte der Versuchsböden	45
Tab. 15:	N-Konzentrationen in den EUF-Extrakten der 20°C Fraktion der Böden zu Versuchsbeginn, gewonnen durch Extraktion mit verschiedenen Filtern; (mg N kg ⁻¹ Boden)	46
Tab. 16:	N-Konzentrationen in den EUF-Extrakten der 80°C Fraktion der Böden zu Versuchsbeginn, gewonnen durch Extraktion mit verschiedenen Filtern; (mg N kg ⁻¹ Boden)	47
Tab. 17:	N-Konzentrationen in den EUF-Extrakten der 20°C+80°C Fraktion der Böden zu Versuchsbeginn, gewonnen durch Extraktion mit verschiedenen Filtern; (mg N kg ⁻¹ Boden)	48
Tab. 18:	Korrelationskoeffizienten (r) verschiedener Bodenkenndaten <i>versus</i> N-Fractionen der „Polysulfon“ EUF-Extrakte der 20°C+80°C Fraktion zu Versuchsbeginn (T_0); $n = 13$	51
Tab. 19:	Korrelationskoeffizienten (r) der organischen N-Fractionen in „Polysulfon“ EUF-Extrakten zum Verlauf der Netto-N-Mineralisation über 6 Termine; $n=13$	53

	Seite
Tab.20: Norg-Konzentrationen in den EUF-Extrakten der belgischen Böden zu Versuchsbeginn, gewonnen durch Extraktion mit verschiedenen Filtern; (mg N kg ⁻¹ Boden)	55
Tab. 21: Nmin-Gehalte der feuchten Böden zu Versuchsbeginn (T ₀) sowie zum jeweiligen Probenahmetermin (T _x) und Netto-Nmin (kg N ha ⁻¹)	56
Tab. 22: Netto-N-Mineralisation zum jeweiligen Probenahmetermin (T _x) und zu Versuchsende (kg N ha ⁻¹)	57
Tab. 23: Korrelationskoeffizienten (r) der organischen N-Fractionen in „Polysulfon“-und „Zellulosetriacetat“-EUF-Extrakten der belgischen Böden im Verlauf der Netto-N-Mineralisation über 5 Termine; n=11	58
Tab. 24: NH ₄ ⁺ -Konzentrationen der bewachsenen Böden während der Versuchsdauer (mg N kg ⁻¹ Boden)	61
Tab. 25: NO ₃ ⁻ -Konzentrationen der bewachsenen Böden während der Versuchsdauer (mg N kg ⁻¹ Boden)	63
Tab. 26: EUF-Norg-Konzentrationen der bewachsenen Böden während der Versuchsdauer (mg N kg ⁻¹ Boden)	65
Tab. 27: EUF-Corg-Konzentrationen der bewachsenen Böden während der Versuchsdauer (mg C kg ⁻¹ Boden)	68
Tab. 28: Die fixierten NH ₄ ⁺ -Konzentrationen in den Böden während der Versuchsdauer und die Netto-Freisetzung des fixierten NH ₄ ⁺ zu Versuchsende (mg N kg ⁻¹ Boden)	70
Tab. 29: N-Aufnahme des Weidelgrases (mg N kg ⁻¹ Boden)	72

	Seite
Tab. 30: EUF-N _{min} -Konzentrationen in Böden zu Versuchsbeginn und zu Versuchsende und Netto-N-Mineralisation (mg N kg ⁻¹ Boden)	75
Tab. 31: Korrelationskoeffizienten (r) verschiedener Bodenkennwerte zum Verlauf von EUF-NH ₄ ⁺ über fünf Termine	77
Tab. 32: Korrelationskoeffizienten (r) verschiedener Bodenkennwerte zum Verlauf von EUF-NO ₃ ⁻ über fünf Termine	78
Tab. 33: Korrelationskoeffizienten (r) verschiedener Bodenkennwerte zum Verlauf des EUF-Norg über fünf Termine	80
Tab. 34: Korrelationskoeffizienten (r) verschiedener Bodenkennwerte zum Verlauf des EUF-Corg über fünf Termine	82
Tab. 35: Korrelationskoeffizienten (r) verschiedener Bodenkennwerte zur N-Aufnahme von Weidelgras und zur Netto-N-Mineralisation	83
Tab. 36: Korrelationskoeffizienten (r) verschiedener Bodenkennwerte zum Verlauf der fixierten NH ₄ ⁺ -Gehalte in den Böden über drei Termine sowie zur Nettofreisetzung des fixiertem NH ₄ ⁺ zu Versuchsende	85
Tab. 37: Korrelationskoeffizienten (r) der EUF-Corg-Gehalte <i>versus</i> EUF-Norg-Menge zu den jeweiligen Probenahmeterminen des Versuches	86
Tab. 38: Korrelationskoeffizienten (r) der EUF-Corg-Gehalte <i>versus</i> EUF-NH ₄ ⁺ -Menge zu den jeweiligen Probenahmeterminen des Versuches	87
Tab. 39: Korrelationskoeffizienten (r) der EUF-Corg-Gehalte <i>versus</i> EUF-NO ₃ ⁻ -Menge zu den jeweiligen Probenahmeterminen des Versuches	88

	Seite
Tab. 40: Korrelationskoeffizienten (r) der fix.-NH ₄ ⁺ -Gehalte <i>versus</i> EUF- NH ₄ ⁺ -Menge zu den jeweiligen Probenahmeterminen des Versuches	90
Tab. 41: Korrelationskoeffizienten (r) der EUF-NH ₄ ⁺ -Gehalte zu den jeweiligen Probenahmeterminen des Versuches <i>versus</i> N-Aufnahme des Weidelgrases und <i>versus</i> Netto-N-Mineralisation	92
Tab. 42: Korrelationskoeffizienten (r) der EUF-NO ₃ ⁻ -Gehalte zu den jeweiligen Probenahmeterminen des Versuches <i>versus</i> N-Aufnahme des Weidelgrases und <i>versus</i> Netto-N-Mineralisation	93
Tab. 43: Korrelationskoeffizienten (r) der EUF-Norg-Gehalte zu den jeweiligen Probenahmeterminen des Versuches <i>versus</i> N-Aufnahme des Weidelgrases und <i>versus</i> Netto-N-Mineralisation	95
Tab. 44: Korrelationskoeffizienten (r) der EUF-Corg-Gehalte zu den jeweiligen Probenahmeterminen des Versuches <i>versus</i> N-Aufnahme des Weidelgrases und <i>versus</i> Netto-N-Mineralisation	97
Tab. 45: Korrelationskoeffizienten (r) der fix.-NH ₄ ⁺ -Gehalte in den Versuchsböden und ihrer Nettofreisetzung <i>versus</i> N-Aufnahme des Weidelgrases und <i>versus</i> Netto-N-Mineralisation	99
Tab. A1: Bodenkenndaten der 13 Versuchsböden (April 1996)	138
Tab. A2: Bodenkenndaten der 11 Versuchsböden aus Belgien (April 1996)	139
Tab. A3: Bodenkenndaten der 20 Böden des Gefäßversuches (April 1998), Gehalte von P, K und Mg (mg kg ⁻¹ Boden)	140

	Seite
Tab. A4: Konzentrationen an NH_4^+ -N, NO_3^- -N und Norg in den EUF-Extrakten der 20°C und 80°C Fraktion zu Versuchsbeginn (mg N kg^{-1} Boden). Mittelwerte von je 2 analytischen Parallelen.	141
Tab. A5: Nmin-Konzentrationen der feuchten Böden extrahiert mit CaCl_2 -Lösung zu Versuchsbeginn (T_0) sowie zum jeweiligen Probenahmetermin (T_x) (mg N kg^{-1} Boden)	141
Tab. A6 Die Werte der Netto-N-Mineralisation der Versuchsböden zu jedem Probenahmetermin (mg N kg^{-1} Boden)	142
Tab. A7: Korrelationskoeffizienten (r) verschiedener Bodenkenndaten <i>versus</i> N-Fractionen der „Polysulfon“ EUF-Extrakte der 20°C Fraktion zu Versuchsbeginn (T_0); $n = 13$	142
Tab. A8: Korrelationskoeffizienten (r) verschiedener Bodenkenndaten <i>versus</i> N-Fractionen der „Polysulfon“ EUF-Extrakte der 80°C Fraktion zu Versuchsbeginn (T_0); $n = 13$	143
Tab. A9: EUF- NH_4^+ -Konzentrationen der 20°C Fraktion der bewachsenen Böden während der Versuchsdauer (mg N kg^{-1} Boden)	144
Tab. A10: EUF- NH_4^+ -Konzentrationen der 80°C Fraktion der bewachsenen Böden während der Versuchsdauer (mg N kg^{-1} Boden)	145
Tab. A11: EUF- NO_3^- -Konzentrationen der 20°C Fraktion der bewachsenen Böden während der Versuchsdauer (mg N kg^{-1} Boden)	146
Tab. A12: EUF- NO_3^- -Konzentrationen der 80°C Fraktion der bewachsenen Böden während der Versuchsdauer (mg N kg^{-1} Boden)	147

	Seite
Tab. A13: EUF-Norg-Konzentrationen der 20°C Fraktion der bewachsenen Böden während der Versuchsdauer (mg N kg ⁻¹ Boden)	148
Tab. A14: EUF-Norg-Konzentrationen der 80°C Fraktion der bewachsenen Böden während der Versuchsdauer (mg N kg ⁻¹ Boden)	149
Tab. A15: EUF-Corg-Konzentrationen der 20°C Fraktion der bewachsenen Böden während der Versuchsdauer (mg N kg ⁻¹ Boden)	150
Tab. A16: EUF-Corg-Konzentrationen der 80°C Fraktion der bewachsenen Böden während der Versuchsdauer (mg N kg ⁻¹ Boden)	151

Verzeichnis der Abbildungen:

	Seite
Abb. 1	18
Abb. 2	49
Abb. 3	62
Abb. 4	64
Abb. 5	66
Abb. 6	69
Abb. 7	74

1. Einleitung

Stickstoff ist einer der wichtigsten Nährstoffe für das Wachstum und die Ertragsbildung der Pflanze. Die wichtigsten Formen des für die Pflanze aufnehmbaren Stickstoffs sind Nitrat und Ammonium, denn diese Stickstoffformen sind direkt für die Pflanzenwurzel verfügbar (Mengel, 1991).

Durch die N-Düngung wird der Ertrag und die Qualität pflanzlicher Produkte unterschiedlich beeinflusst. So führt eine Stickstoffzufuhr, die nur auf grund der quantitativen Beziehung zwischen Intensität der mineralischen Ernährung und Ertragshöhe ermittelt wurde, nicht immer zu der gewünschten Produktqualität. Hohe Erträge bei gleichzeitiger Einhaltung spezifischer Qualitätsziele sind deshalb nur realisierbar, wenn zur Bestimmung des erforderlichen Stickstoffbedarfs die Beziehungen zwischen Düngung, Ertrag und den verschiedenen Qualitätsmerkmalen im Gesamtzusammenhang analysiert werden.

Auch muß die Effizienz der N-Düngung berücksichtigt werden, die meistens nur bei etwa 50% liegt (Craswell u. Godwin, 1984; Isermann, 1990). Der übrige Anteil wird in die Umwelt eingetragen oder, aber auch von den Mikroorganismen immobilisiert. Nitratauswaschung und gasförmige N-Emission sind die am häufigsten auftretende Formen des N-Eintrages in die Umwelt (Mengel, 1992) und nehmen insbesondere in den letzten Jahren in nicht mehr tolerierbarer Weise zu.

Die „Pflanzenernährung“ hat sich seit Jahren mit den düngungsbedingten Ursachen des erhöhten Nitrataustrags aus dem Wurzelraum befaßt. Es konnten zahlreiche Erkenntnisse zur Optimierung der N-Düngungsempfehlung gewonnen werden. Hierzu gehören:

- 1) das standorttypische N-Nachlieferungspotential aus dem organischen N-Vorrat. Dieses Potential wird mittels verschiedener Verfahren erfaßt und dazu gehören: die analytische Erfassung der „N_{org}“-Fraktion (Heißwasser-, EUF-, CaCl₂-Methoden: Bronner, 1976; Nemeth et al., 1979; Houba et al., 1986), die Erfassung naturräumlich differenzierter „Sollwerte“ (N_{min}-Methode) sowie die Anwendung von Simulationsmodellen zur Prognose der N-Nachlieferung (Richter et al., 1980; Engel u. Reiner, 1990),
- 2) die zu Vegetationsbeginn im Boden bereits vorliegende mineralische N-Menge (N_{min}-Methode; Wehrmann u. Scharpf 1979),
- 3) die N-Nachlieferung aus Zwischenfrüchten und Ernterückständen, einschließlich Futterleguminosen (u. a. Scharpf u. Schrage, 1988),

- 4) die N-Nachlieferung aus wirtschaftseigenen Düngemitteln (u.a. Vetter und Steffens, 1986),
- 5) die Kontrolle der N-Versorgung während der Vegetation zur Optimierung der N-Spätdüngung mittels Nitratschnelltestes (Wollring u. Wehrmann, 1981; Schulz u. Marschner 1986).

Die Optimierung der N-Düngung auf der Basis dieser Erkenntnisse und in Verbindung mit schlagbezogener N-Bilanzierung hat bereits deutliche Erfolge gebracht. Sie spiegeln sich vor allem in den N-Gaben zur Zuckerrübe wider, die heute deutlich niedriger liegen als noch vor 20 Jahren. In den letzten Jahren wird zu Getreide im Durchschnitt auch etwas weniger gedüngt. Wichtiger in diesem Zusammenhang ist, daß jedoch durch angepaßte Düngungs- und Bestandesführungsmaßnahmen die N-Ausnutzung gerade im intensiven Getreidebau sich verbessert hat. Darüber hinaus wurden für den Feldgemüsebau spezielle Düngungssysteme in Kombination mit modifizierten Produktionsverfahren erarbeitet, mit denen die gerade bei diesen Spezialkulturen verstärkt auftretende Nitratproblematik erheblich entschärft werden kann (Scharpf et al., 1985).

Eine Optimierung der N-Düngung im Hinblick auf den Ertrag und das Ökosystem ist aber nur möglich, wenn die Verfügbarkeit des Bodenstickstoffs für die Pflanze ermittelt werden kann und neben dem mineralischen Stickstoff muß auch die zu erwartende Stickstoffmineralisation in die Düngerbedarfsprognosen einbezogen werden (Newbould, 1989). Zur Erfassung des verfügbaren Stickstoffs im Boden stehen unterschiedliche Methoden zur Verfügung, wie biologische Inkubationstechniken (Stanford u. Smith, 1972) und chemische Extraktionsverfahren (Bronner, 1976; Nemeth et al., 1979; Houba et al., 1986).

Bei den chemischen Methoden kommt der Elektro-ultrafiltrationsmethode (EUF) nach Nemeth et al. (1979) in den letzten Jahren besondere Bedeutung zu. Viele Untersuchungen bestätigen, daß die EUF-Methode im allgemeinen geeignet ist, den verfügbaren Stickstoff im Boden zu erfassen. Neben Nitrat und Ammonium werden mit der EUF-Methode niedermolekulare organische N-Verbindungen extrahiert, die als Norg-Fractionen bezeichnet werden. Aus der stofflichen Charakterisierung der extrahierten organischen N-Fractionen ist erkennbar, daß es sich vermutlich um leicht mineralisierbare N-Verbindungen handelt (Nemeth et al. 1988; Danneberg et al. 1988a, 1988b; Hütsch u. Mengel 1990; Recke et al. 1990; Uischner-Peetz u. Neumann 1990).

Die EUF-Methode wird bereits erfolgreich in der Praxis angewendet. Erste Erfolge einer basierenden Düngerberatung auf Ergebnissen der EUF-Methode konnten für den Zuckerrübeanbau in Österreich und im Anbaugebiet der Süddeutschen Zucker AG erzielt

werden (Wiklicky et al. 1983, Nemeth et al. 1987). Es wurden weiter zahlreiche Feldversuche durchgeführt, um die N-Düngerempfehlungen nach der EUF-Methode zu überprüfen (Horn 1990; Kohl u. Werner 1986; Appel 1991; Paul 1994). Barekzai et al., (1992) konnten mittels der EUF-Norg-Fraktion aus Bodenproben im Herbst die Stickstoffnahlieferung zu Winterweizen und Wintergerste im darauffolgenden Jahr erfolgreich abschätzen und entwickelten das „Gießener Modell“ für die N-Düngeempfehlung im Landkreis Gießen. Ziegler et al. (1992) fanden enge Beziehungen zwischen der Norg-Fraktion und dem ökonomischen Optimum an Stickstoffdünger zu Winterweizen auf schweren Böden. In den Untersuchungen von Appel u. Mengel (1990) zeigte EUF- und CaCl_2 -Norg signifikante Korrelationen zur Netto-N-Mineralisation von Sandböden.

Die Beziehungen zwischen der EUF-Norg-Fraktion und der Netto-N-Mineralisation sind aber nicht in allen Fällen befriedigend (Appel u. Mengel 1993; Olf u. Werner 1991), weil ein Teil des extrahierten Norg aus mikrobiell schwer abbaubare Verbindungen besteht. Zur Herstellung kausaler Zusammenhänge zwischen Stickstoffnachlieferung und der Norg-Fraktion ist die Kenntnis der chemischen Stoffgruppen der extrahierten organischen Stickstoffverbindungen erforderlich. Die molekulare Zusammensetzung der EUF- und CaCl_2 -Norg-Fraktion wurde von Danneberg et al. (1988b) untersucht. Hier zeigte sich, daß die Norg-Fraktion im wesentlichen aus Protein als Umwandlungsprodukt nativer Zellsubstanz besteht. In den Untersuchungen von Uischner-Peetz u. Neumann (1990) zur Zusammensetzung der EUF-Anodenfraktion konnten diese Ergebnisse bestätigt werden, und es zeigte sich darüber hinaus, daß der Anteil freier Aminosäuren an EUF-Norg nur gering ist. Nemeth et al. (1988) bestimmten die Gehalte an Aminosäure-N in EUF-Extrakten nach saurer Hydrolyse. Sie konnten 23 % bis 55 % des Norg von Ackerböden sowie 41 % bis 46 % des Norg von Waldböden als Aminosäure-N identifizieren. Diese Ergebnisse konnten in den Untersuchungen von Hütsch u. Mengel (1993) an vereinigten EUF-Mehrfachextrakten bestätigt werden, wonach 29 % des EUF-Norg eines Lehmbodens sowie 40 % des EUF-Norg eines Sandbodens in Form von Aminosäurestickstoff vorlagen. Recke et al. (1990) untersuchten separat die erste und zweite EUF-Fraktion von Löß und Sandböden. In der ersten Fraktion lagen 27 % bis 65 % und in der zweiten Fraktion 25 % bis 48 % des Norg in Form von Aminosäuren vor. Die wichtigsten organischen N-haltigen Stoffgruppen, die mittels EUF oder CaCl_2 -Lösung extrahierbar sind, und deren Bedeutung für die Netto-N-Mineralisation im Boden wurde von Mengel et al. (1999) im Gefäßversuch ermittelt. Die Stoffgruppe mit höchstem Anteil am N der Extrakte war der α -Amino-N (Aminosäuren + Peptide). Ihr Anteil

betrug im Durchschnitt 60 % des gesamten mit der CaCl_2 -Lösung und 40 % des gesamten mit EUF extrahierten N. Der Anteil an Aminosucker-N betrug durchschnittlich 10 % im CaCl_2 -Extrakt und 5,2 % im EUF-Extrakt vom gesamten extrahierten organischen N. Die Anteile an heterocyclischen Basen der Nukleinsäuren beliefen sich im Durchschnitt auf 4,8 % im CaCl_2 - und 3,6 % im EUF-Norg-Extrakt. Von diesen drei N-haltigen Stoffgruppen korrelierte der α -Amino-N am engsten mit der Netto-N-Mineralisation. Schneider (1995) bestimmte diese drei N-haltige Stoffgruppen in EUF-Routineextrakten nach saurer Hydrolyse. Hier zeigte sich, daß die hydrolysierbare α -Amino-N-Fraktion zur Netto-N-Mineralisation von höherer Aussagekraft ist als der gesamte EUF-Norg.

Analytisch ist aber die Hydrolyse aufwendig und wenig praktikabel. Deshalb stellt sich die Frage, ob eine kolorimetrische Bestimmung der α -Amino-N-Fraktion direkt in den EUF-Extrakten ohne Hydrolyse möglich ist. Darüber hinaus muß überprüft werden, ob und in welchem Zusammenhang α -Amino-N mit der Stickstoffmineralisation steht.

Bezüglich der kolorimetrischen Bestimmung von α -Amino-N ohne Hydrolyse liegen nur wenige Hinweise aus der Literatur vor. Recke et al. (1990) bestimmten säulenchromatographisch die freien Aminosäuren in den EUF-Extrakten. Der Anteil des in Form von freien Aminosäuren gebundenen Stickstoffs an Norg machte bei den untersuchten Böden zwischen 1,4 und 8,1 % aus. Während jedoch in der 20°C-Fraktion im Durchschnitt 4,6% des Norg in Form freier Aminosäuren vorlag, waren es in der 80°C-Fraktion nur 2 %.

In den Untersuchungen von Uischner-Peetz u. Neumann (1990) zur Zusammensetzung der EUF-Anodenfraktion konnten diese Ergebnisse bestätigt werden. Der Anteil freier Aminosäuren an EUF-Norg war aber geringer. Er betrug nur 0,3 bis 1,3 %.

Danneberg et al. (1998b) untersuchten säulenchromatographisch die Norg-Fractionen der 4 Extraktionsverfahren (Heißwasser, Kaltwasser, CaCl_2 -Lösung und EUF) aus dem gleichen Boden. Aus den Ergebnissen wurde abgeleitet, daß die genannten Extraktionsverfahren den selben Norg im Boden erfassen, allerdings in unterschiedlichem Ausmaß. Alle Extrakte außer EUF ergaben zwei Fraktionen: einen Ausschlußpeak und einen Hauptpeak. Die entsprechenden Molekulargewichte waren > 90 kDa und im Bereich von ~ 14 kDa. Im EUF-Extrakt fehlte der Ausschlußpeak, weil durch die Porengröße der Ultrafilter die Extraktion organischer Verbindungen auf solche mit Molekülgrößen bis 20 kDa begrenzt wird. Untersuchungen von Appel u. Mengel (1993); Mengel et al. (1999) zeigten, daß CaCl_2 -Norg zur Netto-N-Mineralisation enger korrelierte als EUF-Norg. Diese Feststellung läßt vermuten,

daß die organischen N-Verbindungen mit Molekulargewicht > 90 kDa im CaCl_2 -Extrakt von besonderer Bedeutung für die Stickstoffmineralisation sein könnten.

Deshalb soll überprüft werden, ob die Verwendung der Filter größerer Porengrößenordnung die Möglichkeit bietet, EUF-Extrakte zu erhalten, die mehr α -Amino-N oder eventuell höhere Konzentrationen an leicht mineralisierbaren N-haltigen Verbindungen haben.

Bezüglich der Verwendung solcher Filter liegen bisher keine Hinweise aus der Literatur vor.

Mengel et al. (1999) fanden im Gefäßversuch mit Weidelgras einen großen Unterschied in der Netto-N-Mineralisation für den selben Boden, abhängig davon, ob der Boden unbewachsen oder bewachsen war. Im Durchschnitt war die Netto-N-Mineralisation in der unbewachsenen Variante etwa vierfach höher als in der Variante mit Gras und ohne N-Düngung. In der Variante mit Gras + N-Düngung lag im Durchschnitt keine Netto-N-Mineralisation vor. Es wurde angenommen, daß in den Varianten mit Grasbewuchs organischer Kohlenstoff, der von den Wurzeln freigesetzt wurde, zur Assimilation von mineralischen N und Aminosäuren durch Mikroorganismen beitrug, wodurch die Netto-N-Mineralisation vermindert wurde.

Daher bedarf es einer weiteren Bestimmung des mit dem EUF-Verfahren extrahierbaren organischen Kohlenstoffs. Darüber hinaus muß überprüft werden, ob und in welchem Umfang die löslichen Kohlenstoffverbindungen (EUF-Corg) die Stickstoffimmobilisierung beeinflussen. Ein direkter Beweis fehlt bislang.

In der Literatur liegen zahlreiche Hinweise über die Bedeutung des nicht austauschbaren Ammoniums im Stickstoffhaushalt der Böden vor (Mengel u. Scherer 1981; Saha u. Mukopadhyay 1986; Baethgen u. Alley 1987; Li et al. 1990; Scherer u. Weimar 1993; Scherer 1993; Steffens u. Sparks 1997). Die im Laufe einer Vegetationsperiode aus den Zwischenschichten der Tonminerale freigesetzten Mengen können Größenordnungen annehmen, die für die Stickstoffversorgung der Pflanze eine bedeutende Rolle spielen können (van Praag et al. 1980; Scherer u. Mengel 1986; Scherer u. Ahrens 1996). Mit einer Nettofreisetzung an nicht austauschbarem NH_4^+ ist ähnlich wie beim nicht austauschbaren Kalium (Jungk et al. 1982; Smith et al. 1994), aber nur dann zu rechnen, wenn die NH_4^+ -Konzentration der Bodenlösung niedrig ist, d. h. wenn ein Konzentrationsgradient zwischen dem NH_4^+ der Bodenlösung und dem nicht austauschbaren NH_4^+ besteht.

Es wäre interessant zu überprüfen, ob eine Beziehung zwischen dem nicht austauschbaren Ammonium und dem EUF- NH_4^+ im Laufe einer Vegetationsperiode erfaßt werden kann.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war daher der Einsatz colorimetrischer Bestimmungsmethoden, um die Erfassung der α -Amino-N-Fraktion direkt in den EUF-Extrakten ohne Anwendung der Hydrolyse zu ermöglichen. Darüber hinaus sollte überprüft werden ob die Verwendung von Filter mit größeren Poren die Möglichkeit bietet, EUF-Extrakte zu erhalten, die mehr α -Amino-N oder eventuell höhere Konzentrationen an leicht mineralisierbaren N-haltigen Verbindungen haben und in welchem Zusammenhang diese Verbindungen mit der Stickstoffmineralisation stehen. Weiter war zu prüfen, welche Bedeutung der extrahierbare EUF-Corg für das Potential der N-Immobilisierung in den bepflanzten Böden hat, und wie die N-Nachlieferung im Boden und die N-Aufnahme der Pflanzen durch die EUF-N-Fraktionen reflektiert werden. Schließlich sollte überprüft werden, ob ein Zusammenhang im Laufe einer Vegetationsperiode zwischen dem nicht austauschbaren Ammonium und EUF-NH₄⁺ besteht und ob die aus den Zwischenschichten der Tonminerale freigesetzten N-Mengen zur Gesamt-N-Aufnahme der Pflanzen beitragen können.

Zur Bearbeitung der genannten Fragestellung wurde die vorliegende Arbeit in zwei Abschnitte gegliedert. Erstens wurde im Rahmen eines Laborinkubationsversuches die Netto-N-Mineralisation von 13 verschiedenen Versuchsböden erfaßt. In den EUF-Extrakten dieser Böden wurden die α -Amino-N-Gehalte ermittelt und zur erfaßten Netto-N-Mineralisation in Beziehung gesetzt, um die Frage nach der Mineralisierbarkeit der organischen Stofffraktion zu klären. Es wurden auch bei dem EUF-Routineverfahren Filter mit 100 kDa Porengröße verwendet, um EUF-Extrakte zu erhalten, die größere organische N-Moleküle enthalten. Die Beziehungen dieser EUF-N-Fraktionen zur Netto-N-Mineralisation wurden geprüft.

Zweitens wurde im Rahmen eines Gefäßversuches mit Weidelgras der Verlauf der EUF-N-Fraktionen, des EUF-Corg und des fix.-NH₄⁺ von 20 verschiedenen Böden, sowie der Verlauf der N-Aufnahme der Pflanzen untersucht, um deren Bedeutung für das Potential der Immobilisierung und Mineralisierung des Bodenstickstoffs zu klären. Da neben Quantität und Qualität der organischen Substanz auch die Mineralisierungsbedingungen von Bedeutung sind, wurden auch die allgemeinen Bodenparameter in die Untersuchungen miteinbezogen.

2. Material und Methoden

2.1 Laborversuche

2.1.1 Beschreibung der Versuchsböden

Um die Netto-N-Mineralisation der Böden zu untersuchen, wurde von April bis Juni 1996 (insgesamt 61 Tage) ein Laborinkubationsversuch durchgeführt. Als Versuchsböden wurden 13 ausgewählte Standorte aus der Umgebung von Gießen herangezogen. Die Böden unterschieden sich in pH-Wert, Ton, Gesamt-N und Humus. Einige wesentliche Bodeneigenschaften sind in Tabelle 1 dargelegt.

Tab. 1: Bodenkenndaten der 13 Versuchsböden zu Versuchsbeginn (April 1996)

Boden Nr.	Textur		pH-Wert CaCl ₂	N _t g*kg ⁻¹	C _t g*kg ⁻¹	C/N	
	Sand g*kg ⁻¹	Schluff g*kg ⁻¹					Ton g*kg ⁻¹
1	544	321	135	5,8	1,11	11,6	10,5
2	134	536	33	6,7	2,09	18,0	8,6
3	125	707	168	5,8	0,87	8,7	10,0
4	214	524	262	5,8	1,96	19,5	10,0
5	90	681	229	7,3	2,33	21,3	9,1
6	49	763	188	7,0	1,33	12,4	9,3
7	84	776	14	5,4	0,96	10,3	10,7
8	759	155	86	5,8	0,55	8,0	14,5
9	124	734	142	6,3	0,95	10,5	11,1
10	290	479	231	6,4	1,62	16,7	10,3
11	358	506	136	5,9	1,22	12,6	10,3
12	61	715	224	7,3	1,35	11,7	8,7
13	50	795	155	6,4	1,08	10,5	9,7
Ø	222	592	187	6,3	1,30	13,2	10,2

Es handelte sich um Ackerkrume verschiedener Bodentypen. Als Ausgangsgestein lagen Löß, Buntsandstein und Alluvium vor. Zum Teil war auf den Standorten im Herbst Wirtschaftsdünger ausgebracht worden. Einzelheiten sind der Tabelle A1 im Anhang zu entnehmen.

2.1.2 Versuchsdurchführung

Die Bodenproben wurden am 16.04.1996 entnommen, auf 4 mm gesiebt, mit Hand gemischt und bei Zimmertemperatur (22° C) über Nacht gelagert. Am nächsten Tag wurde ein Teil (120 g feuchter Boden) in Kunststoffdosen eingewogen. Für jeden Versuchsboden wurden 18 Kunststoffdosen mit Probenmaterial vorbereitet (3 Wiederholungen / Termin) und mit einem Deckel abgedeckt, um die Verdunstung zu verringern. Ein kleines Loch in jedem Deckel ermöglichte den Gasaustausch, um die aerobe Bedingungen zu erhalten. Das Probenmaterial von je drei Dosen aller Böden wurde am selben Tag auf Nmin und Norg analysiert (Tag 0). Das restliche Probenmaterial der Kunststoffdosen wurde 61 Tage in einem Inkubationsschrank bei 25°C und 50 % der maximalen Wasserkapazität (MWK) inkubiert. Die Bodenproben wurden zu 5 Termine (Tag 4, 7, 20, 41 und 61) aus dem Inkubationsschrank geholt, mit CaCl₂-Lösung extrahiert, und in dieser Lösung wurde der "Nmin" bestimmt.

Die Netto-N-Mineralisation wurde wie folgt berechnet:

$$N_{\text{min}} (\text{Tag 61}) - N_{\text{min}} (\text{Tag 0})$$

Bei den Nmin Werte wurden die Gehalte an NO₃⁻-N und NH₄⁺-N erfaßt.

Der restliche Teil der Böden wurde 24 h bei 40° C im Trockenschrank unter Frischluftzufuhr getrocknet. Durch Wägung vor und nach dem Trocknungsvorgang wurde der Wassergehalt ermittelt. Nach Abkühlen wurde das Probenmaterial mit einer "Retsch" Mühle gemahlen, auf 1mm gesiebt und bis zur Analyse in Plastiktüten aufbewahrt.

Die EUF-Extrakte der 13 Versuchsböden wurden zu Versuchsbeginn auf ihre Gehalte an NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, Norg und α-Amino-N untersucht.

2.1.3 Untersuchungsmethoden

2.1.3.1 Allgemeine Analysen zur Bodencharakteristik

Maximale Wasserkapazität (MWK):

Die Bodenproben (200 g / Boden) wurden 24 h im Trockenschrank bei 105°C getrocknet und danach wurde die Trockensubstanz der Böden ermittelt. Die feuchten ungemahlene Böden wurden in Zylindern eingefüllt und eingewogen. Nach 12 stündiger Wassersättigung wurden die Zylinder für 3 h zum Abfließen aufgestellt. Hiernach wurde durch Wägung die Wassermenge ermittelt und dann wurde die MWK nach Schaller (1988) berechnet.

Korngrößenfraktionierung:

Mittels $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ -Lösung wurden 10 g Boden dispergiert. Die Bestimmung der Sandfraktion erfolgte durch Naßsiebung. Der Tongehalt wurde durch die Sedimentationsanalyse mit der Pipettmethode nach Köhn (Schaller 1988) ermittelt. Aus der Differenz wurde der Schluffgehalt berechnet.

pH-Wert:

10 g Boden wurden in 25 ml 0,01 M CaCl_2 -Lösung suspendiert. Mittels einer Glaselektrode wurde nach 30 min der pH-Wert im Überstand gemessen.

Gesamt-N:

Die Bestimmung des Gesamt-N wurde in den Bodenproben mittels eines "Makro-N" der Firma Foss-Heraeus durchgeführt. Dabei werden die Proben durch oxidative Verbrennung aufgeschlossen, wobei molekularer Stickstoff und Stickoxide entstehen. Nach Reduktion dieser Oxide an einer Kupferoberfläche wird der nun vollständig als vorliegende N_2 zusammen mit Kohlendioxid als Trägergas einem Wärmeleitfähigkeitsdetektor zugeführt. Dieser besteht aus zwei Kammern, von denen eine mit Kohlendioxid durchflossen wird (Referenzstrom) und die andere das Gemisch aus Kohlendioxid und dem zu messenden Stickstoff enthält (Meßstrom). Die elektrische Verschiebung der so vorliegenden Meßbrücke stellt ein direktes Maß für den Stickstoffanteil im Trägergas dar.

Gesamt-C:

Zu einer bestimmten Bodeneinwaage (10 g Boden) wurden in einem 300 ml Weithals-Erlmeyer-Kolben 50 ml einer 2N $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ -Lösung und 40 ml konz. H_2SO_4 zugesetzt. Dabei fügt man 3 g festes $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ hinzu, um genügend Oxydationsäquivalent zur Verfügung zu haben. Letzteres muß in kleinen Portionen vorsichtig zugegeben werden, da die Oxydation der organischen Substanz unter starkem Schäumen abläuft. Es wird kurz umgeschwenkt und die Lösung eine halbe Stunde auf das schon kochende Wasserbad gestellt. Danach läßt man die Lösung abkühlen und spült sie in einen 250 ml-Meßkolben über, füllt mit dest. Wasser bis zur Marke auf, mischt durch und läßt die Bodenteilchen absitzen. Aus der klaren, gefärbten Lösung wird eine Verdünnung 1: 25 mit dest. Wasser hergestellt. Die Farbe der Lösung wird gegen einen gleich behandelten Reagentienblindwert bei einer Wellenlänge von 570 nm in 5

cm Küvetten am Spektrophotometer gemessen. Die Farbe liegt je nach dem Kohlenstoffgehalt der Bodenprobe zwischen gelb und blaugrün. Die Umrechnung der gefundenen Extinktionen auf den Kohlenstoffgehalt bzw. auf Humus erfolgt über eine Eichreihe (Von E. Leidenfrost, 1973).

Die oben beschriebene Methode ist eine Verbesserung der vorherigen Methode nach Westerhoff (1952).

Phosphat:

Die Phosphatbestimmung erfolgte durch CAL-Extraktion nach Schüller (1969) und anschließende kolorimetrische Messung der P-Gehalte.

Kalium:

Kalium wurde nach der CAL-Extraktion (Schüller 1969) mittels Atom-Absorptions-Spektrometer (AAS) der Firma "Perkin-Elmer" bestimmt.

2.1.3.2 Methoden zur Stickstoffextraktion

2.1.3.2.1 Nmin-Analyse

In den feuchten Bodenproben wurde der mineralische Stickstoff nach dem Verfahren der VDLUFA (1991) analysiert. Es wurden am Tag der Probenahme (am Tag 0 und zu weiteren 5 Terminen) 30 g feuchter Boden in 250 ml Schüttelflaschen mit 120 ml Extraktionslösung (0,01 M CaCl₂-Lösung) versetzt und 1 h bei 20°C geschüttelt. Die Extrakte wurden durch N-freie Faltenfilter der Firma Macherey-Nagel (261 ¼) filtriert und die ersten 25 ml verworfen. In den Filtraten wurden am folgenden Tag Ammonium und Nitrat nach dem CaCl₂-Verfahren bestimmt (Houba et al., 1986). Bis zur Messung wurden die Extrakte gekühlt aufbewahrt. Für die Umrechnung auf Bodentrockensubstanz wurde auch der Wassergehalt des Bodens berücksichtigt. Zur Kontrolle der Extraktions- und Analysebedingungen wurden in jeder Serie von 39 Proben 2 Extrakte ohne Boden (Blindwerte) und 2 Standardböden analysiert.

2.1.3.2.2 Analyse der N-Fraktionen im CaCl₂-Extrakt und Berechnung der Netto-N-Mineralisation im Boden

In den CaCl₂-Extrakten wurden Ammonium und Nitrat am Autoanalyser der Firma Technicon bestimmt.

Auf Grund der hohen Salzkonzentrationen mußten sowohl die Bodenextrakten als auch die Eichlösungen in einem Verhältnis von 1: 10 mit dest. Wasser verdünnt werden. Die Meßwerte wurden in Form von Diagrammen aufgezeichnet und über einen Computer in µg N ml⁻¹ angegeben. Aus diesen Daten wurden die N-Konzentrationen in mg N kg⁻¹ berechnet.

NH₄⁺-Bestimmung:

NH₄⁺-Ionen bilden mit Salicylat und freiem Chlor in Gegenwart von Nitroprussid bei einem pH-Wert von 12,7 einen smaragdgrünen Komplex. In einem linearen Eichbereich von 0.01 bis 1 µg ml⁻¹ NH₄⁺ kann dieser Farbkomplex bei 660 nm photometrisch bestimmt werden.

NO₃⁻-Bestimmung:

NO₃⁻-Ionen werden im alkalischen Milieu in Gegenwart von Cu-II-Sulfat zu NO₂⁻-Ionen reduziert. Diese reagieren im sauren Milieu mit Sulfanilsäure und N-(1-Naphtyl)-ethylendiaminhydrochlorid zu einem Diazo-Farbstoff, dessen Extinktion bei 520 nm gemessen wird. In einem Bereich von 0,05 bis 5 µg ml⁻¹ liegt eine lineare Eichkurve vor.

Es wurden die N-Mineralisationsraten der Böden zwischen den sechs Nmin-Probenahmeterminen gemessen. Die Nmin-Werte ergaben sich aus der Summe von Nitrat und Ammonium zu jedem Termin.

Die Netto-N-Mineralisation wurde wie folgt berechnet:

$$N_{\text{min}} (\text{Tag 61}) - N_{\text{min}} (\text{Tag 0})$$

2.1.3.2.3 EUF-Methode

Die Bodenproben wurden zu Versuchsbeginn mit der von Nemeth (1985) beschriebenen Elektro-Ultrafiltrationsmethode extrahiert. Die Extraktion mittels EUF-Technik erfolgte an drei EUF-Geräten mit gekühlter Mittelzelle des Typs 724 der Firma Vogel, Gießen. Die Geräte bestehen im wesentlichen aus einem Plexiglas-Kammersystem, dem ein Unterdruck angelegt wird. In dieses System sind Platin-Netzelektroden integriert, die durch Membranfilter

(Ultrafilter aus Zellulosetriacetat, Firma Sartorius) von der sogenannten Mittelzelle abgegrenzt werden.

Das Prinzip des Verfahrens ist wie folgt:

In der Mittelzelle befindet sich eine ständig gerührte und temperierte Bodensuspension (5 g bei 40°C getrockneter Boden; Boden : Wasser 1:10). Dieser werden mittels angelegter Spannung und Unterdruck (-0,3 bar an der Kathode, -0,4 bar an der Anode) durch die Membranfilter hindurch, (unterstützt von einem elektrischen Feld) Anionen und Kationen entzogen. Die Membranfilter sorgen für eine Ausschlußgrenze von Molekülen < 20 kDa. Die Menge der extrahierten Ionen wird durch Spannung, Temperatur und Extraktionsdauer beeinflusst.

Für die Routineuntersuchungen werden zwei Fraktionen unter folgenden Bedingungen extrahiert: Die 1. Fraktion erhält man durch Extraktion über 30 min bei 20°C und 200 V (≤ 15 mA). Durch anschließende 5 minütige Extraktion bei 80°C und 400 V (≤ 150 mA) erhält man die 2. Fraktion.

Zwei Fraktionen wurden in vorliegender Arbeit auf diese Weise gewonnen, wobei Anoden- und Kathodenextrakte vereinigt aufgefangen wurden. Das Aufnehmen der Filtrate der 1. Fraktion erfolgte in 200 ml Kolben, für die 2. Fraktion wurden 100 ml Kolben verwendet. Die Kolben wurden mit dest. Wasser bis zur Markierung aufgefüllt, homogenisiert und in 100 ml Plastikflaschen überführt. Danach wurden die Proben maximal 3 Tage gekühlt bis zur Analyse aufbewahrt. Zur Kontrolle der Extraktionsbedingungen wurde an den drei Geräten zu jedem Extraktionstag ein Standardboden extrahiert. Je nach Charge der verwendeten Membranfilter erhält man unterschiedlichen Extraktmengen (Appel, 1991). Deshalb wurden alle Extrakte mit Filter einer Charge hergestellt.

2.1.3.2.4 Analyse der N-Fractionen im EUF-Extrakt

In den EUF -Extrakten wurden NH_4^+ , NO_3^- und Gesamt-N kolorimetrisch am Dreikanal-Autoanalyser der Firma Technicon bestimmt. Norg wurde nach folgender Gleichung rechnerisch ermittelt:

$$\text{Norg} = \text{N-Gesamt} - (\text{NH}_4^+ \text{-N} + \text{NO}_3^- \text{-N})$$

Die Bestimmung der NH_4^+ und NO_3^- -Gehalte in den EUF-Extrakten verlief nach dem gleichen Meßprinzip wie in den CaCl_2 -Extrakten, allerdings ohne Verdünnung.

Gesamt-N-Bestimmung nach Kutscha-Lissberg u. Prillinger (1982):

Ammonium und organische N-Verbindungen werden unter dem Einfluß von UV-Licht in Gegenwart von Kaliumperoxodisulfat im stark alkalischen Milieu zu Nitrat oxidiert. Auf diese Weise wird der Gesamt-N in Form von Nitrat nach dem bereits beschriebenen Verfahren gemessen. Der Verlauf der Eichkurve ist linear im Bereich von 0,1 bis $10 \mu\text{g ml}^{-1}$ Gesamt-N. Wie Kohl (1989) zeigte, werden durch dieses Verfahren nicht alle organischen N-Verbindungen vollständig erfaßt. Insbesondere heterozyklische Verbindungen (z.B. Histidin) werden nicht quantitativ aufgeschlossen. Nach Meinung von Nemeth et al. (1986) oxidiert $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ bevorzugt leicht mineralisierbare Verbindungen. Der Autor meint, daß der unvollständige Aufschluß der im Extrakt gelösten organischen Verbindungen deshalb dazu beiträgt, daß die mittels EUF-Methode erfaßten Norg-Fractionen mit hoher Selektivität die leicht mineralisierbare organische Substanz reflektieren.

Die Untersuchungen von Schneider (1995) zeigten, daß heterozyklische N-Verbindungen, nämlich die 5 natürlichen Nucleinsäurebasen (Adenin, Cytosin, Guanin, Thymin und Uracil), in Aufschlüssen der EUF-Extrakte mit Perchlorsäure nachgewiesen werden konnten. Im Durchschnitt konnten nur $0,62 \text{ mg N kg}^{-1}$ Boden als Nucleinsäurestickstoff identifiziert werden. Der relative Anteil des Nucleinsäurebasen-N an EUF-Norg betrug durchschnittlich 3,6%.

2.1.3.3 Amino-N-Bestimmung in EUF-Extrakten ohne Anwendung der Hydrolyse

Die Bestimmung des α -Amino-N in EUF-Extrakten war schon mehrfach Gegenstand von Untersuchungen. Nemeth et al. (1988) und Recke et al. (1990) bestimmten Aminosäuren in EUF-Routine-Extrakten. Hütsch (1991) untersuchte vereinigte EUF-Mehrfachextrakte. Eine Bestimmung der Aminosäuregehalte in EUF-Anodenextrakten wurde von Uischner-Peetz u. Neumann (1990) durchgeführt. Schneider (1995) bestimmte Aminosäuren, Aminosucker und Nucleinsäurebasen in EUF- und CaCl_2 -Extrakten. Die genannten Autoren fanden in EUF-Extrakten, daß nach saurer Hydrolyse etwa 50 % des EUF-Norg als α -Amino-N vorliegt.

In der vorliegenden Arbeit wurden nur die α -Amino-N-Gehalte der EUF-Extrakte ohne Anwendung der Hydrolyse bestimmt.

2.1.3.3.1 Vorversuche

2.1.3.3.2 Proteinbestimmung in Eichlösung nach Bradford.

Einfluß von NH_4^+ auf den Proteingehalt der Eichlösung

Für die quantitative Bestimmung von Protein sind zahlreiche Methoden erarbeitet worden. Eine allgemein anwendbare chemische Methode der Proteinbestimmung ist die photometrische Bestimmung nach Bradford (1976). Basis dieser sehr häufig eingesetzten Proteinbestimmungsmethode ist die Bindung des Farbstoffs Coomassie-Brillantblau G-250 an Proteine. Die bei der Bindung des Farbstoffs an Proteine auftretende Veränderung im Absorptionsmaximum von 465 zu 595 nm führt zur einfachen, raschen und sensitiven Bestimmung von Proteinen. In Abhängigkeit vom Farbstoffanteil kann λ_{max} der stabilen blauen Protein-Farbstoffkomplexe zwischen 595 und 620 nm variieren. Die Empfindlichkeit der Methode ist mit der Lowry-Bestimmung (1951) vergleichbar. Von Vorteil ist, daß viele Substanzen, die die Folin-Reaktion stören (vor allem Reduktionsmittel) keinen Einfluß zeigen. Allerdings stören Detergentien (z.B. Triton), aber auch Neutralsalze wie $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Der lineare Bereich für den Test nach Bradford liegt zwischen 5 und 50 μg Protein $0,1 \text{ ml}^{-1}$. Obgleich mit der Bradford-Methode die Proteine bestimmt werden, wurde überprüft, ob sie auch auf Peptide reagiert.

Bestimmungsverfahren:

Das Farbreagens wurde wie folgt eingesetzt: 100 mg Coomassie-Brillantblau G-250 wurden in 50 ml 95 % Ethanol (w/v) gelöst. Dazu wurden 100 ml 85 % Phosphorsäure gegeben und mit dest. Wasser auf 600 ml verdünnt. Anschließend wurde die Lösung filtriert. Nach Zugabe von 100 ml Glycerol wurde mit dest. Wasser auf 1 l aufgefüllt. (Nach 24 h kann die Farblösung zu Proteinbestimmung eingesetzt werden).

Als Eichsubstanz wurde Bovine Serumalbumin (BSA) verwendet. 0,1ml Eichlösung wurden mit 5 ml Farbreagens versetzt und gut gemischt. Nach 5 (bis 20) min wurde die Extinktion bei 595 nm gegen einen Blindwert (0,1 ml dest. Wasser) am Spektrophotometer gemessen. Die Messungen erfolgten nach einer Eichreihe im Bereich von 5 bis 20 μg $0,1 \text{ ml}^{-1}$ (insgesamt 7 Eichlösungen).

Da NH_4^+ -Ionen in EUF-Extrakten anwesend sind, wurde getestet, ob diese Ionen die Proteinbestimmung der Eichlösungen beeinflussen. Die Meßlösungen wurden in 2 Varianten wie folgt eingesetzt:

Variante A: $5 \mu\text{g BSA} \cdot 0,1 \text{ml}^{-1}$ Eichlösung + $0 \mu\text{g NH}_4^+ \text{-N} \cdot 0,1 \text{ml}^{-1}$ NH_4Cl -Lösung (1)

+ $0,5 \mu\text{g NH}_4^+ \text{-N} \cdot 0,1 \text{ml}^{-1}$ NH_4Cl -Lösung (2)

+ $2 \mu\text{g NH}_4^+ \text{-N} \cdot 0,1 \text{ml}^{-1}$ NH_4Cl -Lösung (3)

+ $5 \mu\text{g NH}_4^+ \text{-N} \cdot 0,1 \text{ml}^{-1}$ NH_4Cl -Lösung (4)

Variante B: $10 \mu\text{g BSA} \cdot 0,1 \text{ml}^{-1}$ Eichlösung + $0 \mu\text{g NH}_4^+ \text{-N} \cdot 0,1 \text{ml}^{-1}$ NH_4Cl -Lösung (1)

+ $0,5 \mu\text{g NH}_4^+ \text{-N} \cdot 0,1 \text{ml}^{-1}$ NH_4Cl -Lösung (2)

+ $2 \mu\text{g NH}_4^+ \text{-N} \cdot 0,1 \text{ml}^{-1}$ NH_4Cl -Lösung (3)

+ $5 \mu\text{g NH}_4^+ \text{-N} \cdot 0,1 \text{ml}^{-1}$ NH_4Cl -Lösung (4)

+ $10 \mu\text{g NH}_4^+ \text{-N} \cdot 0,1 \text{ml}^{-1}$ NH_4Cl -Lösung (5)

Die gemischten Eichlösungen der 2 Varianten wurden in 3 Wiederholungen mit 5 ml Farbreagens versetzt und gut gemischt. Nach 10 min wurde die Extinktion bei 595 nm gegen einen Blindwert (0,1 ml dest. Wasser) innerhalb eine Stunde am Spektrophotometer gemessen. Die Proben wurden in 0,5 cm Plastikkuvetten gemessen. Es wurden einmalig Plastikkuvetten verwendet, weil der Farbstoff an den Wänden der Küvette bleibt und schwer abzuspülen ist. Verwendung von Quarzkuvetten hätte die Messungen negativ beeinflussen können (Zor u. Selinger, 1996).

Es zeigte sich, daß die zugegebene NH_4Cl -Lösung in den verschiedenen Varianten keinen Einfluß auf den Proteingehalt der Eichlösungen hatte (Tabelle 2).

Tab. 2: Einfluß von NH_4^+ auf den Proteingehalt (BSA) der Eichlösung

Variante	BSA +	NH_4Cl	Extinktion
A	$\mu\text{g} \cdot 0,1 \text{ml}^{-1}$	$\text{NH}_4^+ \text{-N}$ $\mu\text{g} \cdot 0,1 \text{ml}^{-1}$	595 nm
	5,0	0,0	1,134
		0,5	1,134
		2,0	1,130
		5,0	1,137

B	10,0	0,0	1,370
		0,5	1,374
		2,0	1,374
		5,0	1,375
		10,0	1,377

2.1.3.3.3 Proteinbestimmung in EUF-Extrakten nach Bradford.

Der Vorversuch wurde mit einem Standardboden durchgeführt. Der Boden wurde 3 Mal nach dem EUF-Standardverfahren extrahiert (Nemeth 1979). Die EUF-Extrakte wurden durch Extraktion von 5 g bei 40°C getrockneten Boden (1.Fraktion, 30 min, 20°C 200V; 2. Fraktion, 5min, 80°C, 400V) gewonnen. Die extrahierten EUF-Fraktionen wurden nach der oben beschriebenen Bradford-Methode in zwei Meßwiderholungen mit Farbreagens versetzt und gut gemischt. Nach 15 min wurde die Extinktion bei 595 nm gegen Blindwert (0,1 ml dest. Wasser) innerhalb eine Stunde am Spektrophotometer gemessen. Die Messungen der EUF-Extrakte sind in Tabelle 3 dargelegt.

Tab. 3: Die Extinktionen der EUF-Extrakte nach der Bradford-Methode

EUF-Fraktion	EUF-Parallele	Meß-Wiederholung	Extinktion 595 nm
		Blindwert	0,756
		Blindwert	0,757
1.	1	a	0,753
		b	0,754
	2	a	0,758
		b	0,755
	3	a	0,755
		b	0,754
2.	1	a	0,756
		b	0,751
	2	a	0,759
		b	0,761
	3	a	0,751
		b	0,753

Diese Tabelle zeigt, daß die Extinktionen von EUF-Extrakten und Wasser fast identisch waren. Daraus resultierte, daß die Peptidekonzentrationen in EUF-Extrakten mittels der Bradford-Methode nicht nachgewiesen werden konnten.

2.1.3.3.4 Ninhydrin Methode

Auf Grund ihres gleichartigen Aufbaus lassen sich alle Aminosäuren (α -Aminocarbonsäuren; außer den Pyrrolidincarbonsäuren Prolin und Hydroxyprolin) mittels einer Reihe von Reaktionen, die nur geringe Spezifität aufweisen, quantitativ bestimmen.

Die Ninhydrinreaktion ist die bedeutendste Nachweis- und Bestimmungsmethode für Aminosäuren. Sie wird häufig zur quantitativen Bestimmung genutzt (Moore u. Stein 1948, Lee u. Takahashi 1966, Amato u. Ladd 1988, Joergensen u. Brookes 1990). Als Maß dient die Extinktion des gebildeten Farbstoffs bei 570 nm oder die Produktion des bei der Reaktion freigesetzten CO_2 , die manometrisch erfaßt werden kann.

Oftmals erfolgt eine quantitative Aminosäurebestimmung nach chromatographischer oder elektrophoretischer Trennung (Stevenson 1982, Brewer et al. 1977). In diesen Fällen werden die mit Ninhydrin behandelten Chromatogramme bzw. Elektropherogramme zur Stabilisierung des Farbkomplexes mit einem Kupferreagens entwickelt. Die Areale der einzelnen Aminosäuren werden danach ausgeschnitten (bei Dünnschichtplatten vorsichtig abgelöst) und in je 5 ml Methanol über 60 min bei Raumtemperatur eluiert. Die Bestimmung der Extinktion erfolgt bei 620 nm. Der Vergleich mit der Extinktion einer Eichlösung erlaubt die Ermittlung der Aminosäurekonzentration.

Beide Bestimmungsverfahren, die manometrische CO_2 -Messung und chromatographische Trennung, sind aufwendiger und brauchen mehr Zeit als die einfache photometrische Methode (Stevenson, 1982).

Das Prinzip der Ninhydrin Methode ist wie folgt:

Die α -Aminosäuren werden von Ninhydrin decarboxyliert und deaminiert und der Stickstoff der α -Amino-Gruppe bildet mit Ninhydrin einen typisch rot-blauvioletten Farbkomplex. Der Mechanismus ist in Abb. 1 dargestellt.

Der Farbkomplex bildet sich nicht nur mit Aminosäuren, sondern auch mit Peptiden, Proteinen und Ammonium sowie anderen organischen N-Verbindungen, die freie α -Amino-Gruppen enthalten. Von Moore und Stein (1954) wurde das Ninhydrinreagens modifiziert. Zusammen mit Ninhydrin wurde während der Analyse auch Hydrindantin verwendet.

Hydrindantin ist eine reduzierte Form des Ninhydrins und reagiert während der Reaktion mit Ammonium. Bei 100°C ist die Reaktion freier Aminogruppen der Proteine und Aminosäuren innerhalb 15 min abgeschlossen (z.B. Leucin erreicht die maximalen Färbung nach ca. 5 min). Die Hydrindantinreaktion mit Ammonium benötigt aber 25 min (Lamonthe u. McCormick 1973).

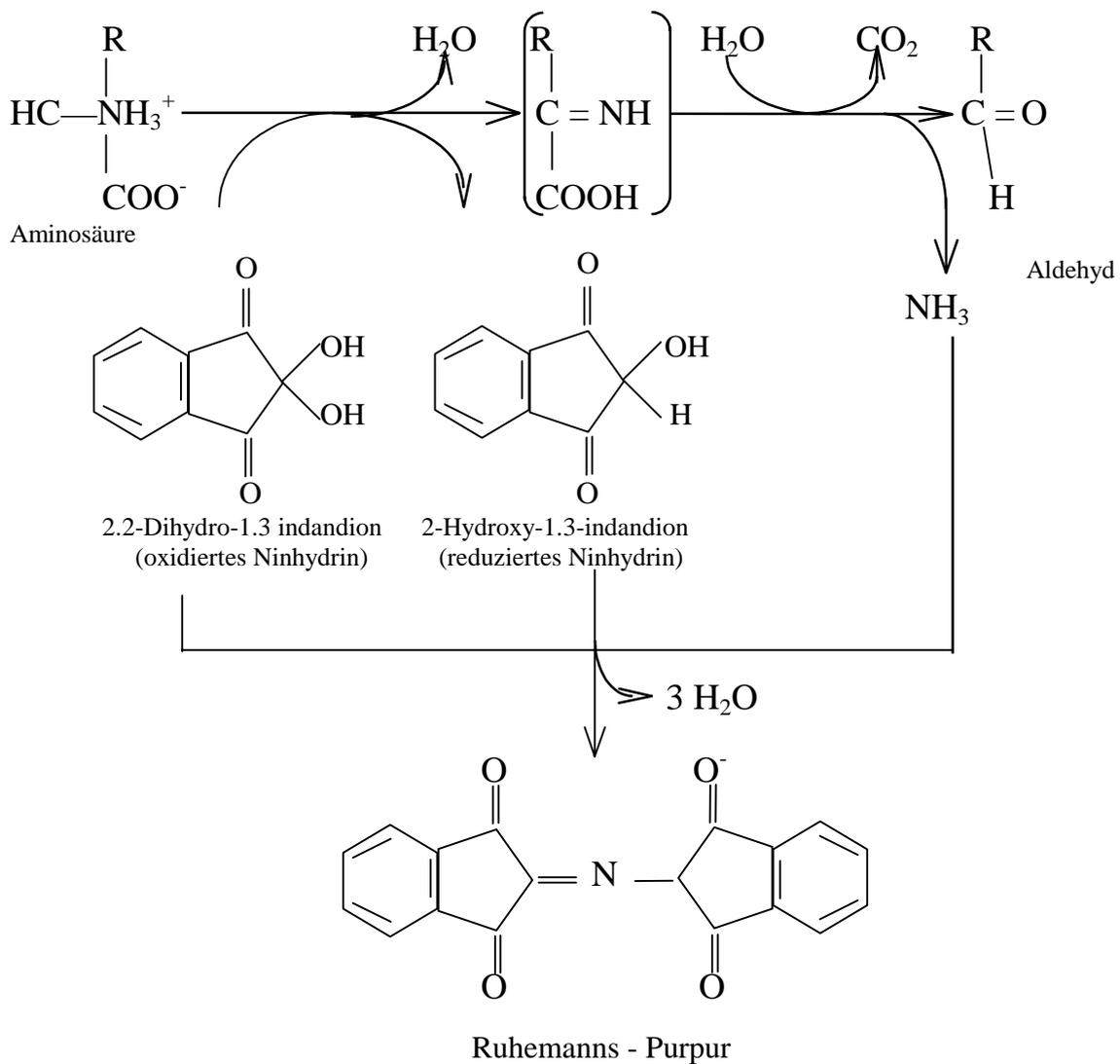


Abb. 1 Ninhydrinreaktion zum Nachweis von L-Aminosäuren

Um die Reproduzierbarkeit von Ninhydrin-N zu überprüfen, ist bei der Messung sehr wichtig, daß die Farbprodukte von Ammonium und Aminosäuren so ähnlich wie möglich sein sollen. Deswegen muß man sicher sein, daß die Reaktion zwischen Ammonium und Hydrindantin beendet ist.

“Ninhydrin-positiv-N” (oder Ninhydrin-N) ist die Summe von α -Amino-N und Ammonium-N. Die Konzentrationen an NH_4^+ -N werden separat am Autoanalyser bestimmt und α -Amino-N wird aus der Differenz zwischen Ninhydrin-positiv-N und NH_4^+ -N rechnerisch ermittelt.

2.1.3.3.4.1 Bestimmungsverfahren

Die Reagenslösungen wurden wie folgt eingesetzt:

Ninhydrinreagens: Ninhydrin (2 g) und Hydrindantin (0,3 g) wurden in 75 ml Dimethylsulfoxid (DMSO) gelöst. Lithium Acetat Puffer (25 ml, 4 M, pH 5,2) wurde zugegeben und gut gemischt. Die Mischung wurde 30 min mit O_2 -freiem N_2 gespült. Das Reagens wurde am Messungstag immer frisch eingesetzt und bis zur Messung in einer dunklen Flasche im Schrank aufbewahrt, weil es gegen Licht und Sauerstoff empfindlich ist.

2-Methoxyethanol wird am häufigsten als Lösungsmittel für Ninhydrin verwendet. Jedoch ist es ein Äther und hat während der Reaktion die Tendenz Peroxide zu bilden, die das Ninhydrin und besonders Hydrindantin zerstören können.

Dimethylsulfoxid (DMSO) ist Peroxid-frei und nicht so giftig wie 2-Methoxyethanol. Das bei DMSO eingesetzte Ninhydrinreagens bildet während der Reaktion einen stabileren Farbkomplex (Moore 1968). Deshalb wurde auch in der vorliegenden Arbeit DMSO als Lösungsmittel für Ninhydrin und Hydrindantin verwendet.

Lithium Acetat Puffer (4 M, pH 5,2): 228,8 ml Essigsäure (100 %) wurden auf 1000 ml mit dest. Wasser verdünnt. In einem 250 ml Meßkolben wurden 102,2 g Lithium Acetat eingewogen, mit dest. Wasser gelöst, bis zur Markierung aufgefüllt, homogenisiert und in

einem 1000ml Becherglas überführt, worin eine Glaselektrode installiert wurde. Es wurde Essigsäure (etwa 195 ml) zugegeben, bis die Pufferlösung den pH-Wert 5,2 erreicht hatte.

Zitronensäure Puffer (pH 5): Monohydrat Zitronensäure (42 g) und NaOH (16 g) wurden in 900 ml dest. Wasser gelöst. Dann wurde 10 M NaOH-Lösung (40 g in 100ml dest. Wasser) zugegeben, bis die Pufferlösung den pH-Wert 5 erreicht hatte.

Äthanol-Wasser: Im Verhältnisvolumen 1:1 wurde Äthanol (96 %) mit Wasser verdünnt. Mit einem Meßzylinder wurden 250 ml Äthanol in einem 500 ml Meßkolben überführt, 250 ml dest. Wasser zugegeben, vorsichtig homogenisiert und nicht mehr bis zur Markierung mit Wasser aufgefüllt.

Eichlösungen: Zunächst wurden 2 Stammlösungen der Eichstandarden eingesetzt. 0,7507 g Glycin und 0,6607 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ wurden separat in zwei verschiedenen 1 l Meßkolben eingewogen, mit dest. Wasser gelöst und bis zur Markierung aufgefüllt (10 mM N). Aus den Stammlösungen wurden mit einer Eppendorf-Pipette und Meßpipette 0; 0,25; 0,5; 1; 2; 5 und 10 ml Lösung entnommen, in 250 ml Meßkolben eingefüllt bis zur Markierung mit dest. Wasser aufgefüllt und homogenisiert. Schließlich wurden 0; 10; 20; 40; 80; 200 und 400 μM N Eichlösungen je Standard hergestellt.

Bestimmung von "Ninhydrin-positiv-N":

0,9 ml von Eichlösungen, bzw. Bodenextrakte oder dest Wasser (Blindwert) und 2,1 ml Zitronensäurepuffer wurden mit einer Eppendorf-Pipette in 20 ml Glasröhrchen eingefüllt. Es wurden sorgfältig 1,5 ml Ninhydrinreagens zugegeben und die Röhrchen wurden sofort mit Alufolie verschlossen. Anschließend wurden die Proben 25 min bei 100°C im Wasserbad gekocht und dann durch Zugabe von Äthanolwasser (5,4 ml) gekühlt. Die Proben wurden gut gemischt und in 1 cm Plastikkuvetten bei Wellenlänge 570 nm gegen den Blindwert (dest. Wasser) innerhalb 1 h am Spektrophotometer gemessen.

2.1.3.3.4.2 α -Amino-N-Bestimmung in EUF-Extrakten

Auf Grund niedriger Konzentrationen freier Aminosäuren in EUF-Extrakten (Recke et al. 1990) erfolgte die Bestimmung von α -Amino-N in eingeeengten EUF-Extrakten. Die EUF-

Extrakte wurden durch Extraktion von 5 g Boden (1. Fraktion, 0-30 min, 20°C, 200V; 2. Fraktion, 30-35 min, 80°C, 400 V) gewonnen. Beide Fraktionen wurden separat in 250 ml Rundkolben aufgefangen. Hiernach wurde durch Wägung die Extraktmenge ermittelt. Mit einer Meßpipette wurden aus den Extrakten 10 ml Proben entnommen, die in kleinen Plastikflaschen überführt und bis zur Analyse gekühlt aufbewahrt wurden. Die restlichen Extrakte wurden am Rotationsverdampfer bei 36-38°C bis zur Trockne eingengt.

Vorversuche von Schneider (1995) zeigten, daß unter diesen Bedingungen keine Verluste der Aminosäuren auftreten.

Die eingedampften Extrakte der 1. Fraktion wurden mit 10 ml dest. Wasser aufgenommen und für die 2. Fraktion wurden 5 ml dest. Wasser verwendet. Auf diese Weise waren die eingengten Extrakte je nach dem Boden 17-20 fach konzentrierter als die EUF-Extrakte vor der Einengung. Die konzentrierten EUF-Extrakte wurden in zwei Proben aufgeteilt, eine für die N-Autoanalyse und die andere für Ninhydrinanalyse; in 20 ml Plastikflaschen überführt und bis zur Messung tiefgefroren (-18°C) aufbewahrt.

Ammonium, Nitrat und Norg wurden nach dem in Abschnitt 2.1.3.2.4 für EUF-Extrakte beschriebenen Verfahren bestimmt. Aufgrund der hohen Konzentrationen mußten die Proben in einem Verhältnis von 1:10 mit destilliertem Wasser verdünnt werden.

Die Messung von Ninhydrin-positiv-N erfolgte analog zu der in Abschnitt 2.1.3.3.4.1 beschriebenen Ninhydrinmethode. Zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit wurden für jeden Extrakt 3 Wiederholungsproben am Photometer gemessen.

Die Gehalte an α -Amino-N wurden nach folgender Gleichung rechnerisch ermittelt:

$$\alpha\text{-Amino-N} = \text{Ninhydrin-positiv-N} - \text{NH}_4^+\text{-N}$$

2.1.3.4 Verwendung der Polysulfon Filter im EUF-Extraktionsverfahren

Beim EUF-Routineverfahren wird die Extraktion organischer Verbindungen durch die Porengröße der Ultrafilter auf solche mit Molekülgrößen bis 20 kDa begrenzt. Danneberg et al. (1988 b) fanden mit einer säulenchromatographischen Methode in mit verschiedenen Verfahren gewonnenen Extrakten zwei Peaks der Norg-Fraktion im Molekulargewichtsbereich von 14 und 90 kDa. Von Appel u. Mengel (1993) wurde festgestellt, daß CaCl_2 -Norg mit der Netto-N-Mineralisation enger korrelierte als EUF-Norg. Dieser Befund könnte eventuell auf

die höhermolekularen organischen N-Verbindungen (MG > 90 kDa) zurückgehen. Solche organische Verbindungen fehlen im EUF-Extrakt.

Die eigenen Untersuchungen waren deshalb auf die Frage ausgerichtet, ob durch Extraktion mit Filter größerer Porengrößeordnung EUF-Extrakte erreicht werden, die eventuell höhere Konzentrationen an leicht mineralisierbaren organischen N-Verbindungen enthalten.

2.1.3.4.1 Durchführung der EUF-Analyse mit Polysulfon Filtern

Die Bodenproben von 13 ausgewählten Standorten des vergangenen Jahres wurden mit der von Nemeth (1985) beschriebenen EUF-Methode im Juni 1997 extrahiert. Bei dem Extraktionsverfahren wurden anstelle von Filtern aus Zellulosetriacetat (MG bis 20 kDa) Polysulfon Filter verwendet, die passierbar für Moleküle mit M.G.bis 100 kDa sind. Jeder Boden wurde zweimal extrahiert. Die 1.EUF-Fraktion wurde über 30 min. bei 20°C, 200V und ≤15 mA erhalten. Durch anschließende 5 minütige Extraktion bei 80°C, 400 V und ≤150 mA wurde die 2.Fraktion gewonnen. Die Anoden- und Kathodenextrakte wurden vereinigt aufgefangen. Das Aufnehmen der Filtrate der 1.Fraktion erfolgte in 200 ml Kolben; für die 2.Fraktion wurden 100 ml Kolben verwendet. Die Kolben wurden ohne und mit Filtrat eingewogen. Aus der Differenz wurden die Extraktmengen errechnet. Die Proben wurden jeweils in Plastikflaschen überführt, worin sie bei -18°C tiefgefroren bis zur Analyse aufbewahrt wurden. Anschließend wurden in den EUF-Extrakten Ammonium, Nitrat und Gesamt-N kolorimetrisch am Dreikanal-Autoanalyser der Firma "Technicon" bestimmt. Norg wurde nach der bereits erwähnten Gleichung berechnet:

$$\text{Norg} = \text{N}_t - (\text{NH}_4^+ \text{-N} + \text{NO}_3^- \text{-N})$$

2.1.3.4.2 Ninhydrin-positiv-N-Bestimmung in den mit Polysulfon Filtern erhaltenen EUF-Extrakten

Wie bereits im Abschnitt 2.1.3.3.4.2 beschrieben wurde, erfolgte die Bestimmung von Ninhydrin-positiv-N in eingeeengten EUF-Extrakten. Die Extrakte mußten am Rotationsverdampfer bei 36-38°C bis zur Trockne eingeeengt werden. Der Einengungsvorgang der Extrakte dauerte 2 h für jede Probe der 1. Fraktion und 1 h für die 2. Fraktion. Die mit destilliertem Wasser aufgenommenen EUF-Extrakte (bzw.10 ml 1.Fr., 5 ml 2.Fr.) mußten auf

ihre N-Konzentrationen analysiert werden. Diese lange Prozedur war aufwendig und kostete Zeit. Um die Analyse einfacher durchzuführen, sollte deshalb überprüft werden, ob die Ninhydrin-positiv-N-Konzentrationen direkt in den mit Polysulfon Filtern erhaltenen EUF-Extrakten bestimmt werden können.

Die Messung von Ninhydrin-positiv-N erfolgte analog zu der in Abschnitt 2.1.3.3.4.1 beschriebenen Ninhydrinmethode. Die α -Amino-N-Fraktion der mit Polysulfon Filtern erhaltenen EUF-Extrakte konnte mit dieser Methode ohne Einengung der Extrakte nicht nachgewiesen werden. Aus dem am Photometer gemessenen Ninhydrin-positiv-N konnten nur die Konzentrationen an NH_4^+ -N nachgewiesen werden.

2.1.3.4.3 EUF-Extraktion mit Zellulosetriacetat- und Polysulfon Filtern der 11 Böden aus Belgien

Im Rahmen einer Zusammenarbeit mit der EUF-Arbeitsgemeinschaft zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit und -gesundheit (Südzucker AG, Ochsenfurt) wurden in den Untersuchungen der vorliegenden Arbeit noch 11 Böden aus Belgien analysiert. Es handelte sich um Bodenproben von Feldversuchen durchgeführt von R. Vereerstraeten und Prof. Dr. G. Hofman Universität Gent, Belgien. Schwerpunkt ihrer Untersuchungen war die Optimierung der N-Düngung zur Zuckerrübe mittels der EUF-extrahierbaren organischen und mineralischen Stickstofffraktionen. Einige Bodenkenndaten der Versuchsstandorte sind der Tabelle A2 im Anhang zu entnehmen.

Die Bodenproben von 11 Versuchsstandorten aus Belgien wurden mit der von Nemeth (1985) beschriebenen EUF-Methode im September 1997 extrahiert. Die Extraktion erfolgte in 2 Wiederholungen mit zwei verschiedenen Ultrafiltern: Zellulosetriacetat- und Polysulfonfilter. Die EUF-Extrakte wurden nach dem im Abschnitt 2.1.3.4.1 beschriebenen Bestimmungsverfahren auf die N-Fraktionen analysiert. Anschließend wurde die im Inkubationsversuch von R. Vereerstraeten erfaßte Netto-N-Mineralisation zu den Gehalten des mit verschiedenen Filtern extrahierten EUF-Norg in Beziehung gesetzt.

2.2 Gefäßversuch zur Ermittlung des N-Mineralisierungspotentials der 20 Böden

2.2.1 Beschreibung der Versuchsböden

Um das N-Mineralisierungspotential des Bodens während einer Vegetationsperiode zu ermitteln, wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes mit der EUF-Arbeitsgemeinschaft zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit und -gesundheit von April bis Oktober 1998 mit 20 Böden ein Gefäßversuch durchgeführt. Die Versuchsstandorte wurden aus den Versuchsfeldern im Zuckerrübeanbaubereich der Süddeutschen Zucker AG herangezogen. Zur Zeit der Bodenprobenahme waren die ausgewählten Standorte unbepflanzt und noch nicht mit Stickstoff gedüngt. Es handelte sich um Ackerkrume (0-30 cm) verschiedener Bodentypen, jedoch waren sie größtenteils Löß-Parabraunerden. Die Böden unterschieden sich in pH-Wert, Textur, Humus und gesamt Stickstoff. Einige wesentliche Bodeneigenschaften sind in Tabelle 1 dargelegt.

Tab. 4: Bodenkenndaten der 20 Versuchsböden zu Versuchsbeginn (April 1998)

Boden Nr.	pH-Wert	Textur			C _t g kg ⁻¹	N _t g kg ⁻¹	C/N
	CaCl ₂	Sand g kg ⁻¹	Schluff g kg ⁻¹	Ton g kg ⁻¹			
1	7,3	55	747	198	7,7	0,70	11,0
2	7,5	29	857	114	9,1	0,85	10,7
3	7,6	42	845	113	12,0	1,14	10,5
4	7,2	74	802	124	10,1	0,85	11,9
5	7,4	43	719	238	15,1	1,22	12,4
6	7,2	66	718	216	17,9	1,32	13,6
7	7,5	43	744	213	10,3	0,94	11,0
8	7,5	32	710	258	9,3	0,90	10,3
9	7,5	43	759	198	12,7	1,30	9,8
10	7,4	521	311	168	9,3	0,95	9,8
11	7,3	96	687	216	10,6	1,22	8,7
12	7,7	311	527	162	9,2	0,96	9,6
13	7,5	203	580	217	9,6	0,99	9,7
14	7,3	52	746	202	11,7	1,30	9,0
15	7,6	268	603	128	11,8	1,37	8,6
16	7,8	48	712	240	8,9	0,90	9,9
17	7,5	42	763	194	11,2	1,18	9,5
18	7,4	46	762	192	10,4	1,00	10,4

19	6,9	864	90	45	5,4	0,39	13,8
20	7,2	45	702	253	11,9	1,05	11,3
Ø	7,4	146,2	669,2	184,5	10,7	1,00	10,6

Als Ausgangsgestein lagen Löß und Buntsandstein vor. Zum Teil war auf den Standorten der Boden bearbeitet. Die Böden stammten aus Niddatal, Groß-Gerau, Offstein, Offenau, Rain, Regensburg, Platting, Eibelstadt, Wabern, Warburg und Friemar. Einzelheiten sind der Tabelle A3 im Anhang zu entnehmen.

2.2.2 Versuchsdurchführung

Die 20 Oberböden wurden in der Vegetationshalle der Versuchsstation normal luftgetrocknet, auf 5 mm gesiebt und homogenisiert. 500 g je Boden wurden entnommen, 24 h bei 40°C getrocknet, gemahlen, auf 1mm gesiebt und für die allgemeinen Bodenanalysen verwendet. Zuerst wurden die P-, K- und Mg-Gehalte sowie die Wasserkapazität der Böden ermittelt.

Die 20 Versuchsböden wurden am 21.04.98 in 80 Mitscherlichgefäße eingewogen. Von jedem Versuchsboden wurden 4 Gefäße (Volumen: 6 l) befüllt. Anhand der Analyseergebnisse der entnommenen Bodenproben wurde die Düngermenge der Nährstoffe P und K (nach CAL-Methode von Schüller, 1969) sowie Mg (Schachtschabel 1956) bemessen. Alle Böden wurden auf 100 mg P, 200 mg K und 50 mg Mg/kg Boden aufgedüngt. Hierbei wurde angenommen, daß die zugegebenen Mengen an P und K zu 100 % lactatlöslich, die zugegebene Menge an Mg löslich in CaCl₂-Lösung bleibt. Die Nährstoffe P, K und Mg wurden in Form von NaH₂PO₄, K₂SO₄ und MgSO₄ appliziert. Die Böden wurden bei 60 % Wasserkapazität 14 Tage inkubiert. Alle Gefäße wurden nach dem Einfüllen der Böden abgedeckt, um eine Austrocknung der Bodenoberfläche zu vermeiden. Täglich wurden die Böden auf 60 % Wasserkapazität eingestellt, während die Anordnung der Gefäße wöchentlich geändert wurde. Die Gefäße standen auf fahrbaren Wagen, damit sie im Niederschlagsfall in die Vegetationshalle gefahren werden konnten, bei trockener Witterung dagegen im Freien standen. Um die Stickstoffverluste durch Auswaschung zu vermeiden, wurden den Gefäßen Schalen untergestellt.

Nach 14 Tagen Inkubation wurden am 05.05.98 den Versuchsböden Bodenproben entnommen und mittels EUF-Routineverfahren auf ihre Gehalte an NH₄, NO₃, Norg und Corg analysiert. Das nicht austauschbare Ammonium wurde auch ermittelt. Dieser Versuchstag wurde als Tag 0 (T₀) bezeichnet. Entsprechend den Analyseergebnissen (NH₄ + NO₃) der zu diesem Termin

entnommenen Bodenproben wurde die Stickstoffdüngermenge bemessen. Um die gleichen Bedingungen zu erhalten, mußten alle Böden ≥ 20 mg Nmin/kg Boden haben (N-Sollmenge). Aus den Analysenergebnissen resultierte, daß nur ein Versuchsboden aufgedüngt werden mußte. Der Boden 19, der ein Sandboden war, wurde mit 9,69 mg N in Form von $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ auf 20 mg N/kg Boden aufgedüngt. Alle Nährstoffe wurden in flüssiger Form appliziert.

Die Aussaat des einjährigen Weidelgrases (*Lolium multiflorum*, cv. Aubade) erfolgte am 22.06.98 (T_{48}). Für jedes Gefäß wurden 0,5 g Saatgut verwendet. Vor der Aussaat wurden den Versuchsgefäßen Bodenproben entnommen und auf ihre Gehalte an NH_4 , NO_3 , Norg und Corg mittels EUF analysiert.

Die drei Grasschnitte wurden am 20.07.98 (T_{76}), am 19.08.98 (T_{106}) und am 07.10.98 (T_{155}) durchgeführt.

Im Verlauf der Versuchsperiode wurden den Böden zu fünf Terminen Proben entnommen und auf ihre Gehalte an EUF-N und EUF-Corg (siehe Abschnitt 2.2.3.4) analysiert. Die Probenahmetermine sind zusammengefaßt in Tabelle 5 aufgelistet.

Tab. 5: Probenahmetermine während der Versuchsdauer

Probenahme	Versuchstag	Datum
E. Anfang	T_0	05.05.98
Aussaat	T_{48}	22.06.98
1. Schnitt	T_{76}	20.07.98
2. Schnitt	T_{106}	19.08.98
3. Schnitt	T_{155}	07.10.98

Das nicht austauschbare Ammonium (fix.-NH_4^+) wurde sowohl zu Versuchsbeginn als auch zu Aussaat und Versuchende nach Scherer u. Mengel (1979) analysiert.

Zur Erfassung der mineralisierten Stickstoffmenge wurde der N-Entzug durch die Pflanzen (drei Schnitte) ermittelt und für die Berechnung der Netto-N-Mineralisation mitberücksichtigt. Der Stickstoffgehalt des Saatgutes und der Wurzeln sowie des fix.-NH_4^+ waren auch in der Formel einbegriffen.

Die Netto-N-Mineralisation wurde wie folgt berechnet:

$$\begin{aligned} \text{Netto-Nmin} = & (\text{N-Pflanze}^* + \text{Nmin} + \text{fix.-NH}_4^+)_{\text{Versuchsende}} - \\ & - (\text{N Dünger} + \text{Nmin} + \text{fix.-NH}_4^+)_{\text{Versuchsbeginn}} \end{aligned}$$

$$\text{N-Pflanze}^* = \text{N}(\text{Sproß}) + \text{N}(\text{Wurzel}) - \text{N}(\text{Saatgut})$$

$$N_{\min} = \text{EUF-NO}_3^- + \text{EUF-NH}_4^+$$

$$\text{fix.-NH}_4^+ = \text{fixiertes-NH}_4^+$$

Es wurde der Verlauf der EUF-N-Fractionen, des EUF-Corg und des Fix.-NH₄⁺ sowie der Verlauf der N-Aufnahme der Pflanzen untersucht, um deren Bedeutung für das Potential der Immobilisierung und Mineralisierung des Bodenstickstoffs zu klären.

2.2.3 Untersuchungsmethoden

2.2.3.1 Entnahme und Aufbereitung der Boden- und Pflanzenproben

Wie von Gutser et al. (1989), Schaaf u. Mangold (1991) sowie Barekzai u. Mühling (1992) berichtet wurde, fordert die Aufbereitung der Bodenproben für die Bestimmung des extrahierbaren Stickstoffs besondere Aufmerksamkeit. Deshalb wurden alle Bodenproben hinsichtlich Entnahme, Transport, Trocknung und weitere Aufbereitung gleich behandelt.

Die Bodenproben (40 g befeuchter Boden) wurden aus den Gefäßen mit Hilfe eines kleinen Gefäßbohrstockes entnommen. Die Wurzeln wurden weitgehend von den Bodenproben entfernt. Die entnommenen Böden wurden bei 40°C im Trockenschrank der Versuchsstation unter Frischluftzufuhr 24 h getrocknet. Nach Abkühlen wurde das Probenmaterial gemahlen und auf 1 mm gesiebt. Durch Wägung vor und nach dem Trocknungsvorgang wurde der Wassergehalt ermittelt und für die Umrechnung der N-Menge/kg Boden/Gefäß berücksichtigt. Nach der Siebung wurde der Boden wieder von den Wurzeln entfernt. Um die kleinen Stücke der Wurzeln aus dem Boden zu ziehen, wurde wie ein Magnet ein Plastiklineal verwendet. Die Bodenproben wurden in Plastiktüten zum Labor transportiert und bis zur Analyse aufbewahrt.

Die zur Einstellung der Wasserkapazität von 60 % erforderlicher Wassermenge wurde den Gefäßen nach jeder Beprobung gegeben. Um die gleichen Bedingungen der Böden zu erhalten, wurden die Bohrlöcher direkt nach der Probenahme mit Quarzsand verschlossen.

Der Schnitt des Weidelgrases erfolgte zwecks besserer Regeneration der Pflanzen zu den ersten beiden Terminen ungefähr 1 cm über der Bodenoberfläche. Zum 3. Termin, am Tag vor Versuchsende, wurde das Gras direkt über dem Boden geschnitten. Es wurde jeweils die Trockenmasse des Aufwuchses ermittelt. Die Trocknung wurde bei 80°C im Trockenschrank der Versuchsstation durchgeführt.

Die Entnahme der Bodenproben zu Versuchsende erfolgte aus den Gefäßen ebenfalls mittels eines Gefäßbohrstockes. Anschließend wurden die Gefäße mit Wasser aufgefüllt und nach 2 h wurden den Gefäßen die gesamten Bodenblöcke entnommen. Durch Auswaschung wurden die Böden von den Wurzeln entfernt. Wegen starker Durchwurzelung der bewachsenen Böden wurden die Wurzeln sorgfältig mit destilliertem Wasser ausgewaschen. Um die Wurzelverluste zu verringern, erfolgte der Auswaschungsvorgang auf ein Siebesystem. Das Wurzelmaterial wurde bei 80°C im Trockenschrank getrocknet und die Trockenmasse ermittelt.

Alle Pflanzenproben wurden in einer "Culatti" Mühle gemahlen und bis zur Analyse in Papiertüten aufbewahrt.

2.2.3.2 Allgemeine Analysen zur Bodencharakteristik

Wasserkapazität:

Die Böden wurden 48 h luftgetrocknet, in Mitscherlichgefäßen eingefüllt, und das Trockengewicht wurde ermittelt. Nach 5 stündiger Wassersättigung wurden die Gefäße für 12h zum Abfließen aufgestellt. Durch Wägung wurde die Wassermenge ermittelt, die der jeweilige Boden entgegen der Schwerkraft halten konnte. Das ist nach Schlichting u. Blume (1966) als 100 % Wasserkapazität definiert.

Magnesium:

Magnesium wurde nach CaCl₂-Extraktion (Schachtschabel 1956) mittels Atom-Absorptions-Spektrometer (AAS) der Firma "Perkin-Elmer" bestimmt.

Korngrößefraktionierung, pH-Wert, Phosphor, Kalium, Gesamt-C und -N wurden nach den im Abschnitt 2.1.3.1 beschriebenen Verfahren ermittelt.

Die Bestimmung des Gesamt-N wurde sowohl in den Böden- als auch in den Pflanzenproben (Gras, Wurzel und Saatgut) mittels eines "Makro-N" der Firma Foss-Heraeus durchgeführt.

2.2.3.3 Bestimmung von EUF-N-Fractionen

Die Bodenproben wurden zu fünf Terminen mit der von Nemeth (1985) beschriebenen EUF-Methode extrahiert. In den EUF-Extrakten verlief die Bestimmung von NH_4^+ , NO_3^- und Norg nach dem gleichen Meßprinzip, wie bereits im Abschnitt 2.1.3.2.4 beschrieben wurde.

2.2.3.4 Bestimmung von EUF-Corg

Der lösliche organische Kohlenstoff (Corg), der mit verschiedenen Methoden extrahiert wird, hat sich als ein geeignetes Kriterium für den leicht umsetzbaren C im Boden und damit für die N-Nachlieferung erwiesen (Behm 1988; Körschens et al. 1990 u.1998; Schulz 1990 u. 1997; Franko 1997).

In den EUF-Extrakten der 20°C und 80°C Fraktion wurden die Corg-Konzentrationen kolorimetrisch am Autoanalyser der Firma Technicon bestimmt.

Kurzbeschreibung der Methode:

Der anorganische Kohlenstoff wird durch Zugabe von Schwefelsäure und Luftdruck ausgetrieben. Im UV-Digestor findet unter dem Einfluß von UV-Licht in Gegenwart von Kaliumperoxidisulfat und im stark alkalischen Milieu die Oxidation des organischen Kohlenstoffs zu CO_2 statt. Das CO_2 diffundiert durch eine gasdurchlässige Membran in eine alkalisch gepufferte Phenolphthalein-Lösung. Die Extinktionabnahme wird bei 550 nm gemessen. Der Verlauf der Eichkurve ist linear im Bereich von 2 bis 100 $\mu\text{g C ml}^{-1}$.

Erforderliche Chemikalien:

Schwefelsäure H_2SO_4 , Natriumcarbonat Na_2CO_3 , Natriumhydrogencarbonat NaHCO_3 , Kaliumperoxidisulfat $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$, Kaliumphthalat, Natriumtetraborat $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, Hydroxylammoniumchlorid $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$, Phenolphthalein $\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$, Methanol.

Einsetzung der Stocklösungen:

A- Triton: 50 ml Triton x-100 und 50 ml Methanol oder Isopropanol mischen.

B- Puffer: 4,0 g Natriumcarbonat $\cdot\text{H}_2\text{O}$ oder 3,42 g Natriumcarbonat (wasserfrei) und 5,0g Natriumhydrogencarbonat einwiegen, in einem 500 ml Meßkolben einfügen, mit

dest. Wasser auf 500ml auffüllen und in gut verschlossener Flasche aufbewahren.

C- Phth.: 1,0 g Phenolphthalein in 100 ml Methanol oder Isopropanol lösen.

D- Standard: 2,1254 g Kaliumphthalat auf 1000 ml dest. Wasser auffüllen (1000mg C l^{-1})

Arbeitslösungen:

-SRE A: 40 ml konz. Schwefelsäure,

Säure in 800 ml dest. Wasser aufnehmen und auf 1000 ml auffüllen.

$\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$: 30 g Natriumtetraborat und 12,1 g Kaliumperoxidisulfat auf 1000 ml auffüllen.

TRITON: 7 g Hydroxylammoniumchlorid

3 ml Schwefelsäure

1 ml Triton-Stocklösung (A)

auf 100 ml auffüllen (je nach Tagesbedarf frisch einsetzen)

COLOR: 9 ml Vorratspufferlösung (B)

5 ml Phenolphthalein-Vorratslösung (C)

1 ml Triton-Stocklösung (A)

auf 1000 ml auffüllen, CO_2 -frei in dunkler Flasche aufbewahren und

immer frisch einsetzen.

2.2.3.5 Bestimmung des fix.- NH_4^+

Die Bestimmung des gesamten Zwischenschicht-Ammoniums (fix.- NH_4^+) der Tonminerale erfolgte nach beschriebener Methode von Silva und Bremner (1966), modifiziert von Scherer und Mengel (1979).

In 2 g feingemahlener und (auf 1 mm) abgeseibter Bodenprobe wurde zuerst die organische Substanz durch Kaliumhyperbromid während 2 h oxidiert und anschließend bis zum Kochen erhitzt. Jede Probe wurde 5 min gekocht und die Zeit genau eingehalten. Nach 24 h wurden die oberhalb des Bodens befindlichen klaren Lösungen dekantiert. Der klare Überstand wurde mittels einer Wasserstrahlpumpe vorsichtig aus dem Becherglas abgesaugt. Es dürfte kein Boden abgesaugt werden. Der Rückstand wurde mit 150-160 ml 0,5 M KCl in Zentrifugenbecher überführt und das Becherglas wurde mehrmals nachgewaschen. Der Zentrifugenbecher wurde in die Zentrifuge gestellt, bei Programm 2 (automatische Betrieb) 10 min zentrifugiert und dann wurde der klare Überstand vorsichtig abgegossen. Auf diese Weise

wurde das austauschbare Ammonium im Bodensediment dreimal mit 0,5 n KCl ausgetauscht. Das Bodensediment wurde mit 40 ml 5 M HF + 1 M HCl versetzt. Der Zentrifugenbecher wurde gut verschlossen und 24 h in einer rotierenden Schüttelmaschine über Kopf geschüttelt. Danach wurde der im Zentrifugenbecher befindliche Inhalt in einen Destillationskolben überspült und die Lösung mit Hilfe einer automatischen Stickstoffdestillation 5 min mit 0,005 M HCl titriert.

2.3 Auswertung und Statistik

Die statistische Auswertung der Versuchsdaten wurde nach Köhler et al. (1984) vorgenommen.

Die Ergebnisse eigener Untersuchungen wurden in der Einheit mg N und mg C kg⁻¹ Boden ausgedrückt, da es sich um Daten der Laborinkubations- und Gefäßversuche handelt. In den Untersuchungen der belgischen Böden erfolgte die Umrechnung der Netto-N-Mineralisation auf kg N ha⁻¹, wobei die Nmin-Gehalte von den belgischen Kollegen ermittelt wurden.

Die statistische Prüfung der Bedeutung des Probenahmetermins auf die C- und N-Gehalte im Boden sowie auf die N-Gehalte in den Pflanzen wurde mit dem t-Test bei abhängigen Stichproben (Paarvergleichstest) durchgeführt.

Der Einfluß verschiedener Ultrafilter auf die extrahierten N-Mengen wurde mittels zweifaktorieller Varianzanalyse mit Meßwiederholung geprüft.

Beziehungen der Bodenkenndaten sowie der analysierten C- und N-Fractionen zur Mineralisation und zur N-Aufnahme der Pflanzen wurden durch Berechnung einfach linearer Regressionen charakterisiert. Bei den Korrelationskoeffizienten wurden folgende Signifikanzniveaus gewählt:

- * = schwach signifikant, Irrtumswahrscheinlichkeit 5 %
- ** = signifikant, Irrtumswahrscheinlichkeit 1 %
- *** = hoch signifikant, Irrtumswahrscheinlichkeit 0,1 %

Die Korrelationen und die Veränderungen der Meßgrößen, die keine statistische Signifikanz aufwiesen, wurden mit n.s.=nicht signifikant bezeichnet.

Die Verrechnung der Daten erfolgte original mit mehr Stellen nach dem Komma als tabellarisch dargestellt wurde. Die graphischen Darstellungen beinhalten in den meisten

Fällen Durchschnittswerte über alle Standorte der Versuche. Dies geschah primär aus Platzgründen, da nicht alle Standorte einzeln aufgeführt werden können. Eine graphische Zusammenlegung wurde allerdings nur dann vorgenommen, wenn die Verläufe auf den Einzelstandorten prinzipiell dasselbe Ergebnis lieferten. Weiter kann durch die Darstellung von Durchschnittswerten die jeweilige Kernaussage einer Untersuchung besser zum Ausdruck gebracht werden.

Die statistische Verrechnung und die Erstellung von Zeichnungen erfolgte am Personalcomputer unter Einsatz der Programme "Excel", (Vers. 7) und "Statgraphics". Der Text der vorliegenden Arbeit einschließlich allen Tabellen wurde mit dem Textverarbeitungsprogramm "Word" (Vers. 7) erstellt.

3. Ergebnisse der Laborversuche

3.1 N-Gehalte der EUF-Fractionen zu Versuchsbeginn

Die ausgewählten Versuchsböden unterschieden sich hinsichtlich ihrer Gehalte an NH_4^+ , NO_3^- und Norg. Die N-Konzentrationen der 20°C+80°C EUF-Fraktion betragen 2,3 - 3,5 mg N an Ammonium, 3,1 - 16,0 mg N an Nitrat und 13,5 - 27,8 mg N kg^{-1} Boden an Norg (Tabelle 6). Die EUF-Extrakte der 13 Böden enthielten durchschnittlich 2,8 mg NH_4^+ -N; 9,6 mg NO_3^- -N und 18,6 mg N kg^{-1} Boden an Norg.

Tab. 6: Konzentrationen an NH_4^+ -N, NO_3^- -N und Norg in den EUF-Extrakten der 20°C+80°C Fraktion zu Versuchsbeginn (mg N kg^{-1} Boden).

Boden Nr.	20°C +80°C Fraktion		
	NH_4^+	NO_3^-	Norg
1	2,9	12,0	17,5
2	3,2	9,6	23,6
3	3,5	3,9	17,6
4	2,6	11,0	26,6
5	3,1	14,2	27,8
6	3,0	4,2	21,8
7	2,5	11,1	17,4
8	2,3	3,1	13,5
9	2,4	8,6	18,2
10	2,7	9,6	20,6
11	2,5	5,8	16,2
12	3,0	15,8	22,2
13	2,7	16,0	18,6
Ø	2,8	9,6	20,1

Mittelwerte aus je 2 analytischen Parallelen

Norg war mit 27,8 mg N kg^{-1} Boden bei Boden 5 am höchsten. Dieser Boden war mit Schweine-Gülle aufgedüngt und 14 Tage vor der Probenahme gefräst worden. Boden 8, der ein Sandboden war, wies dagegen mit 13,5 mg N kg^{-1} Boden die niedrigsten Konzentration an Norg auf. Hier waren auch die NO_3^- -Konzentrationen mit 3,1 mg N kg^{-1} Boden am niedrigsten.

Mit der 20°C Fraktion wurde mehr Stickstoff extrahiert als mit 80°C Fraktion. Die Einzelwerte der beiden Fraktionen sind der Tabelle A4 im Anhang zu entnehmen.

3.2 Verlauf der Netto-N-Mineralisation während der Inkubationsperiode

Die Nmin-Konzentrationen der Ausgangsböden betragen 3,8 - 15,7 mg N kg⁻¹ Boden. Über den gesamten Versuchszeitraum waren die Ammoniumkonzentrationen in den Extrakten sehr gering. Daher werden hier nur die Nmin-Mengen als Summe aus Ammonium und Nitrat vorgestellt. Die Einzelwerte sind Tabelle A5 im Anhang zu entnehmen. In allen Böden war eine Netto-N-Mineralisation zu verzeichnen (Tabelle 7).

Tab.7: Nmin-Konzentrationen der feuchten Böden zu Versuchsbeginn (T₀) sowie zum jeweiligen Probenahmetermin (T_x) und Netto-Nmin (mg N kg⁻¹ Boden)

Boden Nr.	T ₀	T ₄	T ₇	T ₂₀	T ₄₁	T ₆₁	ΔNmin _{T₆₁-T₀}
1	15,7	16,2	17,1	25,5	33,8	41,3	25,5
2	7,8	9,4	10,4	16,0	24,9	32,1	24,4
3	3,7	4,0	4,3	7,8	11,8	14,7	11,0
4	10,3	11,4	13,3	20,2	32,2	43,8	33,5
5	12,7	13,9	15,0	24,6	45,3	57,4	44,7
6	2,8	6,2	6,4	13,1	23,8	32,0	29,2
7	10,6	12,7	13,5	20,8	28,3	34,3	23,8
8	3,8	5,0	5,9	11,9	21,2	28,7	24,9
9	7,3	9,7	11,1	16,0	25,3	29,5	22,2
10	8,5	10,3	11,1	17,5	25,9	32,9	24,5
11	5,4	7,2	8,3	16,2	25,7	32,9	27,5
12	14,7	19,0	21,0	29,2	39,8	48,0	33,3
13	14,8	17,3	17,5	27,9	39,3	50,2	35,3
∅	9,1	10,9	11,9	19,0	29,0	36,8	27,7
t-Test (PVT)	---	***	***	***	***	***	---

Mittelwerte aus je 3 Parallelen. Die Termine entsprechen der jeweiligen Anzahl an Tagen nach Ansetzen des Inkubationsversuches; PVT=Paarvergleichstest von abhängigen Stichproben; signifikante Veränderungen von einem Beprobungstermin zum nächsten; (***) entspricht p<0,1%)

Die Nmin-Gehalte der Böden unterschieden sich im Durchschnitt signifikant von T₀ zu T₆₁. Alle 13 Böden zeigten über die gesamten Inkubationsperiode signifikante Zunahmen der Nmin-Gehalte. Die Werte der Netto-N-Mineralisation der Versuchsböden zu jedem Probenahmetermin sind in Tabelle A6 (siehe Anhang) dargelegt. Die intensivste Netto-N-Mineralisation fand auf dem Boden 5 statt. Von diesem Boden wurde auch die höchste Menge

an EUF-Norg mit 27,8 mg N kg⁻¹ Boden extrahiert. Der niedrigste Wert der Netto-N-Mineralisation lag mit 11 mg N kg⁻¹ Boden bei Boden 3, obwohl er nicht den niedrigsten Gehalt an Norg hatte (17,6 mg N kg⁻¹ Boden). Auf diesem Standort erfolgte nach der Zuckerrübeernte keine Bodenbearbeitung und keine organische Düngung. Vor der Probenahme war die Bodenoberfläche stark verschlämmt. Boden 5 war dagegen mit Gülle aufgedüngt und ist 14 Tage vor der Probenahme eingefräst worden. Einen starken Einfluß der organischen Düngung und Bodenbearbeitung auf die Netto-N-Mineralisation fanden bereits Barezai et al. (1988) sowie Hütsch u. Mengel (1990, 1993).

In Tabelle 8 sind die N-Mineralisationsraten zwischen den einzelnen Probenahmeterminen aufgelistet.

Tab.8: N-Mineralisationsraten der Versuchsböden zwischen den sechs Nmin-Probenahmeterminen von T₀ bis T₆₁ (mg N kg⁻¹ Boden Tag⁻¹)

Boden Nr.	N-Mineralisationsraten					$\Delta N_{min} T^{-1}$
	T ₄	T ₇	T ₂₀	T ₄₁	T ₆₁	
1	0,11	0,31	0,65	0,40	0,37	0,42
2	0,41	0,31	0,43	0,42	0,36	0,40
3	0,07	0,09	0,27	0,19	0,15	0,18
4	0,26	0,64	0,54	0,57	0,58	0,55
5	0,30	0,39	0,74	0,98	0,61	0,73
6	0,84	0,07	0,51	0,51	0,41	0,48
7	0,53	0,28	0,56	0,36	0,30	0,39
8	0,31	0,28	0,46	0,44	0,38	0,41
9	0,60	0,47	0,37	0,45	0,21	0,36
10	0,46	0,26	0,49	0,40	0,35	0,40
11	0,45	0,36	0,61	0,45	0,36	0,45
12	1,08	0,67	0,63	0,51	0,41	0,55
13	0,63	0,07	0,80	0,54	0,54	0,58
Ø	0,46	0,32	0,54	0,48	0,39	0,45

Mittelwerte aus je 3 Parallelen. Die Termine entsprechen der jeweiligen Anzahl an Tagen nach Ansetzen des Inkubationsversuches; $\Delta N_{min} T^{-1} = (N_{min_{T_{61}}} - N_{min_{T_0}}) / \text{Anzahl Tage}$

Im Durchschnitt über alle 13 Böden waren die höchsten Mineralisationsraten zwischen T₂₀ und T₄₁ zu beobachten. Auch Boden 8, der ein Sandboden war, zeichnete sich, besonders zu diesen Terminen, durch hohe Mineralisationsraten aus.

3.3 Ergebnisse zur kolorimetrischen Bestimmung von α -Amino-N in unhydrolysierten EUF-Extrakten mit der Ninhydrin Methode

Um den Aminosäure-Anteil des EUF-Norg aufzuklären wurden die Aminosäuregehalte in den EUF-Extrakten der Ausgangsböden bestimmt. Andere Autoren fanden in EUF-Extrakte geringe Gehalte an freien Aminosäuren (1,4 - 8,1 % des Norg) und durchschnittlich etwa 50 % hydrolysierbaren Aminosäurenstickstoff an Norg einschließlich des während saurer Hydrolyse entstandenen Ammoniums (Nemeth et al. 1988; Recke et al. 1990; Uischner-Peetz u. Neumann 1990; Hütsch u. Mengel 1993). In den Untersuchungen von Schneider (1995) zur Bestimmung der Aminosäuren, Aminoazuckern und Nukleinsäurebasen wurde das durch Hydrolyse entstandene Ammonium nicht quantitativ erfaßt.

In den eigenen Untersuchungen wurde zunächst der Frage nachgegangen, ob die Amino-N-Bestimmung in unhydrolysierten EUF-Extrakten mittels einfach kolorimetrischer Methoden möglich ist. Dazu wurde der im Abschnitt 2.1.3.3.3 hergestellte EUF-Extrakt des Standardbodens ohne vorherige Hydrolyse analysiert. In dieser Probe konnten mit der Bradford- bzw. Ninhydrin Methode weder Proteine noch α -Aminosäuren nachgewiesen werden. Auch im eingengten EUF-Extrakt konnten keine Proteine mit der Bradford Methode quantifiziert werden. Die α -Aminosäuren konnten aber in den eingengten Extrakten mit der Ninhydrin Methode quantitativ erfaßt werden. Im weiteren wird daher nur auf die α -Amino-N-Gehalte der Proben nach der Einengung Bezug genommen.

In Tabelle 9 sind α -Amino-N-Konzentrationen in den EUF-Extrakten der 20°C- und 80°C Fraktion sowie ihre prozentualen Anteile an Norg zu Versuchsbeginn aufgeführt.

Die α -Amino-N-Konzentrationen in den EUF-Extrakten der 20°C Fraktion betragen durchschnittlich 0,44 mg N kg⁻¹ Boden. Der prozentuale Anteil an Norg lag durchschnittlich bei 3%. Die höchsten Konzentrationen wiesen der Boden 4 (1,13 mg N kg⁻¹ Boden) und der Boden 5 (0,98 mg N kg⁻¹ Boden) auf. In beiden Böden wurden auch die höchsten N-Mengen an Norg (bzw. 18,94 und 19,06 mg N kg⁻¹ Boden) gefunden. Boden 2 und Boden 3 enthielten mit 0,13 und 0,18 mg N kg⁻¹ Boden die geringsten Mengen an α -Amino-N, obwohl die beiden Böden nicht die niedrigsten Norg-Gehalte aufwiesen.

Tab. 9: α -Amino-N und sein Anteil an Norg in den EUF-Extrakten der 20°C und 80°C Fraktion zu Versuchsbeginn (mg N kg⁻¹ Boden)

Boden	20°C Fraktion			80°C Fraktion		
	α -Amino-N	Norg	% Anteil von EUF-Norg	α -Amino-N	Norg	% Anteil von EUF-Norg
1	0,23	11,77	1,95	0,14	5,74	2,44
2	0,13	16,82	0,77	0,13	6,79	1,91
3	0,18	13,02	1,38	0,10	4,53	2,21
4	1,13	18,94	5,97	0,13	7,70	1,69
5	0,98	19,06	5,14	0,08	8,77	0,91
6	0,60	15,78	3,80	0,00	6,03	0,00
7	0,30	12,30	2,44	0,06	5,08	1,18
8	0,40	8,62	4,64	0,07	4,85	1,44
9	0,23	13,41	1,72	0,16	4,80	3,33
10	0,35	14,96	2,34	0,15	5,61	2,67
11	0,27	11,45	2,36	0,14	4,78	2,93
12	0,33	15,03	2,20	0,11	7,21	1,53
13	0,58	13,26	4,37	0,14	5,33	2,63
Ø	0,44	14,19	3,01	0,11	5,94	1,91

Mittelwerte aus je 3 Meßwiederholungen

Die EUF-Extrakte der 80°C Fraktion enthielten mit durchschnittlich 0,11 mg N kg⁻¹ Boden deutlich geringere Mengen an α -Amino-N als die Extrakte der 20°C Fraktion. Die höchsten Konzentrationen an α -Amino-N waren in den Böden 1; 11 und 13 jeweils mit 0,14 mg N kg⁻¹ Boden zu finden. Im Extrakt von Boden 6 (80°C Fraktion) konnten keine Aminosäuren nachgewiesen werden.

Der prozentuale Anteil von α -Amino-N an Norg der 80°C Fraktion lag durchschnittlich bei 1,91 % mit einer Variationsbreite (außer Boden 6) von 0,91 auf 3,33 % vor.

Auch in den von Nemeth et al. (1988) untersuchten EUF-Extrakten der 80°C Fraktion waren die Gehalte an Aminosäure-N viel niedriger als in den bei 20°C erhaltenen Extrakten. Aus den Ergebnissen wurde abgeleitet, daß ein Teil der Amminosäuren während der Extraktion bei 80°C zerstört werden kann. Nach Mengel (1991) wird von der Carboxylgruppe der Aminosäuren im schwach sauren bis neutralen Medium H⁺ dissoziiert, während erst unter alkalischen Bedingungen von protonierten Aminogruppen H⁺ freigesetzt wird. Die Extraktion der 80°C EUF-Fraktion findet unter dem Einfluß hoher Temperaturen und im stark alkalischen Milieu statt. Die pH-Werte der EUF-Extrakten vorliegender Arbeit lagen z.B. im

Bereich von 9,2 bis 11,1 vor. Daher könnte unter diesen Bedingungen teilweise eine Zersetzung der Aminosäuren erfolgen, die zu N-Verlusten führen kann. Die Verluste können auch von Ammonium an der Kathode in Form von Ammoniak nach folgender Gleichung auftreten:



Die Gesamtgehalte an α -Amino-N von 13 Ausgangsböden sind in Tabelle 10 zusammengefaßt.

Tab. 10: α -Amino-N und sein Anteil an Norg in den EUF-Extrakten der 20°C + 80°C Fraktion zu Versuchsbeginn (mg N kg⁻¹ Boden)

Boden	20°C + 80°C Fraktion		
	α -Amino-N	Norg	% Anteil von EUF-Norg
1	0,37	17,51	2,11
2	0,26	23,61	1,10
3	0,28	17,55	1,60
4	1,26	26,64	4,73
5	1,06	27,83	3,81
6	0,60	21,81	2,75
7	0,36	17,38	2,07
8	0,47	13,47	3,49
9	0,39	18,21	2,14
10	0,50	20,57	2,43
11	0,41	16,23	2,53
12	0,44	22,24	1,98
13	0,72	18,59	3,87
Ø	0,55	20,13	2,66

Mittelwerte aus je 3 Meßwiederholungen

Der Gesamtgehalt an α -Amino-N betrug durchschnittlich 0,55 mg N kg⁻¹ Boden. In den 13 Versuchsböden wurden durchschnittlich 2,66 % des EUF-Norg als α -Amino-N erfaßt. Die Variationsbreite des prozentualen Anteils von α -Amino-N an Norg betrug 1,10 % bis 4,73 % . Die Ergebnisse eigener Untersuchungen stimmten mit denen von Nemeth et al. (1988), Recke et al. (1990), Uischner-Peetz u. Neumann (1990) überein. Geringfügige Unterschiede zu dem

relativ erfaßten Anteil der Aminosäuren an EUF-Norg sind im Vergleich zu anderen Autoren auf verschiedene Probenaufbereitungen und Bestimmungsmethoden zurückzuführen.

3.4 Beziehungen zwischen allgemeinen Bodenkenndaten und den organischen N-Fractionen in EUF-Extrakten

Neben den organischen Stickstoffverbindungen sind auch andere Bodenfaktoren von Bedeutung für die Stickstoffmineralisation. Daher wurde mittels Berechnung einfach linearer Regressionen überprüft, ob Beziehungen zwischen allgemeinen Bodenkenndaten und den organischen EUF-N-Verbindungen bestehen. Tabelle 11 zeigt die Korrelationskoeffizienten zwischen den zu Versuchsbeginn ermittelten Bodenkenndaten und den organischen N-Fractionen der EUF-Extrakte der Ausgangsböden.

Tab. 11: Korrelationskoeffizienten (r) verschiedener Bodenkenndaten vs. organische N-Verbindungen der EUF-Extrakte der Böden zu Versuchsbeginn (T₀); n=13

	EUF-Extraktion					
	20°C- Fraktion		80°C- Fraktion		20°C+80°C Fraktion	
	α-Amino-N	Norg	α-Amino-N	Norg	α-Amino-N	Norg
EUF-Norg ₁	0,63*	/	/	/	/	/
EUF-Norg ₂	/	/	0,10	/	/	/
EUFNorg ₁₊₂	/	/	/	/	0,68**	/
Nmin	-0,21	0,23	0,38	0,45	0,27	0,31
Nt	0,53	0,91***	0,10	0,86***	0,56*	0,92***
Ct	0,60*	0,86***	0,14	0,83***	0,63*	0,88***
C/N	-0,14	-0,73**	-0,07	-0,54	-0,15	-0,69**
pH-Wert	-0,21	0,56*	-0,17	0,62*	-0,19	0,60*
Sand	-0,17	-0,62*	-0,12	-0,31	-0,16	-0,54
Schluff	0,11	0,40	-0,18	0,10	0,08	0,32
Ton	0,26	0,85***	0,14	0,70**	0,28	0,83***

Signifikanz: *, **, ***entsprechen p < 5 %, 1 %, 0,1 %

Sowohl bei der 20°C Fraktion als auch bei der 20°C+80°C Fraktion der EUF-Extrakte lagen signifikante Beziehungen (r = 0,63*; bzw. r = 0,68**) zwischen den Norg-Konzentrationen und dem ermittelten α-Amino-N vor. Der Zusammenhang war enger bei der 20°C+80°C Fraktion als bei der 20°C Fraktion. Dies deutet darauf hin, daß mit steigenden Norg-Mengen zunehmende Mengen an Aminosäurestickstoff aus Böden extrahiert werden. Obwohl der α-Amino-N nur einen geringen Anteil des Norg ausmachte, wies er signifikante Beziehungen zu

den EUF-Norg-Gehalten der Böden auf. Im Gegensatz dazu zeichnete sich bei der 80°C Fraktion keine Beziehung zwischen α -Amino-N und dem Norg ab. Bei der Betrachtung der statistischen Beziehungen des α -Amino-N der 80°C Fraktion zu anderen Daten ist zu berücksichtigen, daß die extrahierten Mengen an α -Amino-N außerordentlich niedrig waren, so daß keine ausreichende Variationsbreite vorlag (siehe Tab. 9). Boden 7 und 8 wiesen z.B. die geringsten Konzentrationen an α -Amino-N auf (0,06 mg N; bzw. 0,07 mg N kg⁻¹ Boden). Im Boden 6 konnte sogar der α -Amino-N nicht nachgewiesen werden. Aufgrund solcher geringen Konzentrationen konnte vermutlich bei der 80°C Fraktion kein signifikanter Zusammenhang zwischen α -Amino-N und dem EUF-Norg gefunden werden.

Auch waren keinerlei signifikante Zusammenhänge zwischen den Nmin-Gehalten zu Versuchsbeginn und den EUF-N-Fractionen zu erkennen.

Auffällig eng waren die Beziehungen des EUF-Norg zu Gesamt-N und zu Gesamt-C der Böden (20°C Fraktion $r = 0,91^{***}$, 80°C Fraktion $r = 0,86^{***}$, 20°C + 80°C Fraktion $r = 0,92^{***}$; bzw. $r = 0,86^{***}$, $r = 0,83^{***}$, $r = 0,88^{***}$). In den von Dalal (1978) untersuchten Bodenhydrolysaten lagen 36 % des Gesamt-N als Proteinstickstoff vor. Er fand auch signifikante Korrelationen zwischen Proteinstickstoff und dem Gesamt-N.

Der Stickstoff aus α -Aminosäuren der 20°C + 80°C Fraktion korrelierte schwach mit dem Gesamt-N und -C der Böden ($r = 0,56^*$; bzw. $r = 0,63^*$). Der α -Amino-N der 20°C Fraktion zeigte auch eine signifikante Beziehung zu Gesamt-C der Böden ($r = 0,60^*$). Engere Beziehungen des Gesamt-N zu Aminosäure-N und zu Aminosäure-N in den hydrolysierten EUF- und CaCl₂-Extrakten wurden von Schneider (1995) gefunden. Dagegen korrelierte der EUF-Norg vorliegender Böden enger mit dem Gesamt-N als der mittels EUF- und CaCl₂-Extraktion analysierte Norg von Schneider (1995).

Es wurde kein Zusammenhang zwischen α -Amino-N-Fraktion der EUF-Extrakte und dem C/N Verhältnis in Böden gefunden. Das C/N Verhältnis zeigte aber signifikant negative Beziehungen zu Norg der 20°C Fraktion und der 20°C + 80°C Fraktion ($r = -0,73^{**}$; bzw. $r = -0,69^*$). Das heißt, daß der EUF-Norg eventuell zur Schätzung der N-Umsetzungsprozesse im Boden von Bedeutung sein kann.

Die Korrelationen des pH-Wert der Böden wiesen nur zu Norg schwach signifikant positive Beziehungen auf (20°C Fraktion $r = 0,56^*$; 80°C Fraktion $r = 0,62^*$; 20°C + 80°C Fraktion $r =$

0,60*). Dies weist darauf hin, daß der EUF-Norg von pH-Wert der Böden beeinflusst wird und mit der Steigerung des pH-Wertes zunimmt.

Die Beziehungen der Korngrößenfraktionen zu den organischen N-Verbindungen waren nur für die EUF-Norg-Fraktion signifikant, nicht jedoch für α -Amino-N. Es zeigten sich tendenziell negative Beziehungen der Sandfraktion zu den organischen N-Verbindungen. Die Sandfraktion korrelierte aber signifikant negativ nur mit EUF-Norg der 20°C Fraktion ($r = -0,62^*$). Die Schlufffraktion zeigte auch zu den organischen N-Verbindungen keine signifikante Beziehungen. Die Korrelationen der Tonfraktion wiesen zu EUF-Norg hoch signifikante Beziehungen auf (20°C Fraktion $r = 0,85^{***}$; 80°C Fraktion $r = 0,70^{**}$; 20°C + 80°C Fraktion $r = 0,83^{***}$). Dies bedeutet, daß mit steigendem Tongehalt eines Bodens der Norg im EUF-Extrakt zunimmt. Es ist bereits bekannt, daß sich die Bodenkolloide in der Tonfraktion befinden. Die Annahme von Hütsch und Mengel (1993), daß der extrahierte EUF-Norg größtenteils an den Bodenkolloiden oberflächlich adsorbiert ist, konnte durch die vorliegenden Ergebnisse bestätigt werden.

3.5 Beziehungen der organischen N-Fractionen in EUF-Extrakten sowie allgemeiner Bodenkenndaten zur Netto-N-Mineralisation während der Inkubationsperiode

Die Beziehungen der extrahierbaren organischen Stickstoffverbindungen sowie allgemeiner Bodenkenndaten zur Netto-N-Mineralisation wurden durch Berechnung einfach linearer Regressionen charakterisiert.

Die Versuchsböden wurden mit der Zielsetzung einer möglichst großen Variationsbreite hinsichtlich der Eigenschaften, welche die Stickstoffmineralisation beeinflussen, ausgewählt. Dies führt wahrscheinlich zu einer Überlagerung von Effekten auf die Netto-N-Mineralisation bei der Betrachtung einfacher linearer Regressionen. Die Berechnung multipler Regressionen, zur Erfassung von Wechselwirkungen und Überlagerungen der Faktoren, ist jedoch nur dann zulässig, wenn die einzelnen Faktoren voneinander unabhängig und jeweils signifikant mit dem zu erklärenden Faktor korreliert sind (Köhler et al. 1984). Daher findet die multiple Regressionsanalyse in der vorliegenden Arbeit keine Anwendung.

Die Darstellung des Verlaufes der Netto-N-Mineralisation während der Inkubationsperiode zeigte, daß deutliche absolute Zunahmen hinsichtlich der Mineralisationsintensität zwischen den einzelnen Probenahmeterminen zu verzeichnen waren (Tabelle 7).

In Tabelle 12 sind die Korrelationskoeffizienten (r) der mittels EUF-Methode extrahierten organischen N-Verbindungen zu Versuchsbeginn *versus* Netto-N-Mineralisation in Böden über den gesamten Versuchszeitraum (6 Probenahmeterminen) aufgeführt.

Die Netto-N-Mineralisation zu jedem Termin wurde aus der Differenz von mineralisierten N-Mengen zwischen benachbarten Terminen berechnet. Die gesamt Netto-N-Mineralisation [$\Delta N_{\text{min}_{T(61-0)}}$] der Böden wurde aus der Differenz zwischen Nmin-Gehalte zu Versuchsende (T_{61}) und den Nmin-Gehalte zu Versuchsbeginn (T_0) ermittelt.

Tab. 12: Korrelationskoeffizienten (r) der organischen N-Fractionen in EUF-Extrakten zu den Netto-N-Mineralisationsraten benachbarter Termine im Verlauf der Netto-N-Mineralisation über 6 Termine; $n=13$

	Netto-N-Minralisation					
	T_4	T_7	T_{20}	T_{41}	T_{61}	$\Delta N_{\text{min}_{T(61-0)}}$
EUF-Norg						
20°C	0,10	0,33	0,15	0,59*	0,54	0,53
80°C	0,10	0,51	0,43	0,78**	0,75**	0,76**
20°C+80°C	0,11	0,40	0,24	0,67*	0,62*	0,62*
α-Amino-N						
20°C	-0,05	0,26	0,44	0,75**	0,83***	0,74**
80°C	-0,23	0,35	0,03	-0,15	0,08	0,09
20°C+80°C	-0,08	0,31	0,46	0,74**	0,84***	0,74**

Signifikanz: *, **, ***entsprechen $p < 5 \%$, 1% , $0,1 \%$

Alle organischen N-Fractionen der EUF-Extrakte zeigten am Anfang der Inkubation von Böden keinen Zusammenhang zur Netto-N-Mineralisation. Im weiteren Verlauf bis zum Termin T_{41} ließen sich keine signifikanten Beziehungen aufzeigen. Nur zum Zeitpunkt T_{41} zeigte Norg der 20°C Fraktion einen schwach signifikant positiven Zusammenhang zur Netto-N-Mineralisation ($r = 0,59^*$). Zur mineralisierten Stickstoffmenge des letzten Probenahmetermines ergab sich ein positiver, jedoch nicht signifikanter Koeffizient. Bemerkenswert waren die Korrelationskoeffizienten des Norg der 80°C Fraktion zu den letzten beiden Probenahmeterminen (T_{41} $r = 0,78^{**}$; T_{61} $r = 0,75^{**}$). Vom Zeitpunkt T_{41} an waren auch für den Norg der 20°C+80°C Fraktion signifikant positive Korrelationen zu verzeichnen (T_{41} $r = 0,67^*$; T_{61} $r = 0,62^*$). Die gefundenen Beziehungen weisen darauf hin, daß die mit EUF extrahierten organischen N-Fractionen, mit zunehmenden Mineralisationsdauer stärker an Bedeutung für die Charakterisierung der Netto-N-

Mineralisation gewinnen. Auch Gutser et al. (1990) und Mengel et al. (1999) stellten mit zunehmenden Versuchsdauer kontinuierlich engere Beziehungen von EUF- und CaCl_2 -Norg zur mineralisierten Stickstoffmenge fest.

Ein ähnliches Bild, wie bei Norg, zeigten die Beziehungen der α -Amino-N-Fractionen zur jeweils mineralisierten N-Mengen am Anfang des Versuches. Sie wiesen keine signifikante Zusammenhänge zu den mineralisierten N-Mengen der ersten drei Probenahmetermine auf. Bis zum Versuchsende konnten auch keine signifikanten Beziehungen zwischen α -Amino-N der 80°C Fraktion und der Netto-N-Mineralisation nachgewiesen werden. Auffällig hoch und deutlich enger als die Beziehungen des Norg zur Netto-N-Mineralisation waren die Koeffizienten des α -Amino-N der 20°C Fraktion sowie $20^\circ\text{C}+80^\circ\text{C}$ Fraktion zum Zeitpunkt T_{41} ($r = 0,75^{**}$; bzw. $r = 0,74^{**}$). Diese Beziehungen wurden mit zunehmender Mineralisationsdauer enger und zu Versuchsende (T_{61}) wiesen hoch signifikante positive Korrelationskoeffizienten auf (20°C Fraktion $r = 0,83^{***}$; $20^\circ\text{C}+80^\circ\text{C}$ Fraktion $r = 0,84^{***}$). Diese Koeffizienten weisen auf die Bedeutung der α -Amino-N-Fraktion für die Stickstoffmineralisation in Böden. Man geht davon aus, daß der α -Amino-N den am leichtesten mineralisierbaren organischen Stickstoff des EUF-Norg darstellt. Gleichzeitig wird deutlich, daß der zu Versuchsbeginn (T_0) als Protein vorliegende Stickstoff nicht sofort, sondern erst nach etwa 40 Tagen mineralisiert wurde.

Um die Bedeutung anderer Bodenkenndaten für die Stickstoffmineralisation festzustellen, wurden deren Beziehungen statistisch errechnet. Tabelle 13 zeigt die Korrelationskoeffizienten allgemeiner Bodenkenndaten *versus* Netto-N-Mineralisation.

Tab. 13: Korrelationskoeffizienten (r) verschiedener Bodenkenndaten zu Versuchsbeginn *versus* Netto-N-Mineralisation; $n=13$

	Bodenkenndaten						
	N_t	C_t	C/N	pH-Wert	Sand	Schluff	Ton
Netto-Nmin							
$T_{(61-0)}$	0,58*	0,58*	-0,31	0,57*	-0,20	0,14	0,26

Signifikanz: * entspricht $p < 5 \%$

Es konnten keine signifikanten Zusammenhänge zwischen Korngrößenfraktionen von Böden und der Netto-N-Mineralisation gefunden werden. Eine schwach signifikant positive Beziehung wurde zwischen pH-Wert und der mineralisierten N-Menge gefunden ($r = 0,57^*$). Auch der Gesamt-N und -C der Böden wiesen schwach signifikante Beziehungen zur Netto-N-Mineralisation auf ($r = 0,58^*$; $r = 0,58^*$). Diese Beziehungen waren ähnlich wie die des EUF-Norg der 20°C+80°C Fraktion ($r = 0,62^*$). An dieser Stelle ist jedoch zu berücksichtigen, daß der Gesamt-N und -C sehr eng mit EUF-Norg korrelierte (Tabelle 11).

3.6 Ergebnisse von EUF-Extraktionsverfahren mit Polysulfon Filtern

Aus den Ergebnissen des Inkubationsversuches wurde festgestellt, daß die Konzentrationen an α -Amino-N in EUF-Extrakten sehr gering waren. Ihr prozentualer Anteil am EUF-Norg lag durchschnittlich bei 3%. Darüber hinaus erfolgte die Bestimmung des α -Amino-N in den eingeeengten EUF-Extrakten.

Um die Treffsicherheit der extrahierbaren organischen N-Verbindungen wesentlich zu verbessern, wurde in den vorliegenden Untersuchungen der Frage nachgegangen, ob der α -Amino-N direkt im EUF-Extrakt mit einem Routineverfahren quantitativ bestimmt werden kann. Daher sollten solche Extrakte erreicht werden, die höhere Mengen an Amino-N (Aminosäuren + Proteine) enthalten. Durch die Porengröße der Ultrafilter war die Extraktion organischer Verbindungen auf solche mit Molekülgrößen bis 20 kDa begrenzt. Deshalb wurden bei dem Extraktionsverfahren anstelle von Filtern aus Zellulosetriacetat (MG bis 20 kDa) Polysulfon Filter verwendet, die passierbar für Moleküle mit MG bis 100 kDa sind.

3.6.1 Filtratmengen und die N-Konzentrationen an NH_4^+ , NO_3^- und Norg in den mit Polysulfon Filtern erhaltenen EUF-Extrakten der Böden zu Versuchsbeginn

Bei der Elektro-Ultrafiltration hängt in den meisten Fällen die erhaltene Filtratmenge vom Tongehalt des Bodens ab (Nemeth, 1976). In Tabelle 14 sind die Tongehalte der Versuchsböden und EUF-Filtratmengen, die durch Extraktion mit Polysulfon Filtern gewonnen wurden, dargelegt.

Tab. 14: Tonfraktion und die Volumina der mit Polysulfon Filtern erhaltenen EUF-Extrakte der Versuchsböden

Boden Nr.	Tonfraktion g kg ⁻¹ Boden	EUF- Extrakte		
		20°C Fraktion Vol. (ml)	80°C Fraktion Vol. (ml)	20°C+80°C Fraktion Vol. (ml)
1	135,0	132,5	76,3	208,8
2	330,0	115,3	65,9	181,2
3	168,0	132,7	78,1	210,8
4	262,0	115,1	70,9	185,9
5	229,0	116,8	64,9	181,7
6	188,0	122,7	71,7	194,4
7	140,0	121,6	72,8	194,4
8	86,0	133,1	85,5	218,7
9	142,0	120,6	76,5	197,1
10	231,0	116,0	71,2	187,3
11	136,0	121,3	71,5	192,8
12	224,0	113,8	66,4	180,2
13	155,0	127,3	78,1	205,4
Ø	186,6	122,2	73,1	195,3

Mittelwerte aus je 2 analytischen Parallelen

Die Versuchsböden unterschieden sich in ihren Extraktmengen je nach dem Gehalt der Tonfraktion. Die Böden mit niedrigstem Tongehalt wiesen meistens die höchsten Extraktmengen auf. Bei der 20°C Fraktion betragen die Volumina der Bodenextrakte von 113,8 ml (Boden 12) bis 133,1 ml (Boden 8). Die Extraktmengen der 80°C Fraktion waren deutlich niedriger als die der 20°C Fraktion. Die Variationsbreite extrahierter Mengen reichte von 64,9 ml (Boden 5) bis 85,5 ml (Boden 8).

Um die mit zwei verschiedenen Ultrafiltern extrahierten Stickstoffmengen besser zu vergleichen, werden in den folgenden Tabellen (15, 16 und 17) sowohl die durch Extraktion mit Zellulosetriacetat Filtern erfaßten N-Konzentrationen als auch der mit Polysulfon Filtern extrahierte Stickstoff vorgestellt.

Tabelle 15 zeigt die Konzentrationen an NH_4^+ , NO_3^- und Norg in den EUF-Extrakten der 20°C Fraktion gewonnen durch Extraktion mit Zellulosetriacetat- und Polysulfon Filtern. Auffällig niedriger waren die Werte von Polysulfon Filtern mit Ausnahme des NH_4^+ als die mit Zellulosetriacetat Filtern extrahierten N-Gehalte.

Tab. 15: N-Konzentrationen in den EUF-Extrakten der 20°C Fraktion der Böden zu Versuchsbeginn, gewonnen durch Extraktion mit verschiedenen Filtern; (mg N kg^{-1} Boden)

Boden Nr.	NH_4^+ -N		20°C Fraktion NO_3^- -N		Norg	
	Z	P	Z	P	Z	P
1	1,8	1,8	11,3	10,4	11,8	10,6
2	2,3	1,8	8,8	7,8	16,8	12,8
3	2,4	1,5	3,5	3,4	13,0	9,5
4	2,0	1,4	10,3	8,9	18,9	14,9
5	1,9	1,9	13,2	12,6	19,1	16,4
6	1,8	1,9	3,6	3,5	15,8	14,9
7	1,7	2,0	10,4	8,7	12,3	11,4
8	1,7	1,8	2,7	2,4	8,6	9,0
9	1,8	2,0	8,1	7,3	13,4	11,0
10	1,9	1,9	9,0	7,9	15,0	13,8
11	1,6	1,9	5,4	4,6	11,5	9,9
12	1,8	1,5	14,4	13,3	15,0	12,3
13	1,7	1,6	15,1	13,2	13,3	12,7
Ø	1,9	1,8	8,9	8,0	14,2	12,2
Diff. % P/Z		-5,9		-10,2		-13,7
(Anova)		n. s.		***		***

Mittelwerte aus je 2 analytischen Parallelen. Z = Zellulosetriacetat Filter; P = Polysulfon Filter; Diff. % P/Z entspricht die durchschnittlichen Differenzen im % zwischen den mit verschiedenen Filtern extrahierten EUF-N-Fractionen; Anova = Zweifaktorielle Varianzanalyse mit Meßwiederholung; *** entspricht signifikante Differenzen für $p < 0,1$ %; n.s.=nicht signifikant.

Die Mengen an NO_3^- und Norg waren im Durchschnitt der 13 Böden mit 10,2 % und 13,7 % niedriger als die Werte von Zellulosetriacetat Filtern. Auch bei Ammonium wurde mit Polysulfon Filtern durchschnittlich 5,9 % Stickstoff weniger extrahiert als mit Zellulosetriacetat Filtern. Dies konnte jedoch statistisch nicht abgesichert werden.

Dagegen lagen die Werte der mit Polysulfon Filtern gewonnenen N-Konzentrationen bei der 80°C Fraktion höher als die Werte der mit Zellulosetriacetat Filtern gewonnenen N-Konzentrationen. (Tabelle 16).

Tab. 16: N-Konzentrationen in den EUF-Extrakten der 80°C Fraktion der Böden zu Versuchsbeginn, gewonnen durch Extraktion mit verschiedenen Filtern; (mg N kg⁻¹ Boden)

Boden Nr.	80°C Fraktion					
	NH ₄ ⁺ -N		NO ₃ ⁻ -N		Norg	
	Z	P	Z	P	Z	P
1	1,1	1,5	0,7	1,0	5,7	6,3
2	0,9	0,9	0,8	1,0	6,8	6,1
3	1,1	0,8	0,5	0,4	4,5	6,1
4	0,7	1,2	0,7	1,1	7,7	8,9
5	1,2	0,9	1,0	1,2	8,8	8,0
6	1,2	1,1	0,6	0,4	6,0	6,4
7	0,8	0,9	0,7	0,8	5,1	6,0
8	0,6	0,9	0,4	0,4	4,9	6,0
9	0,6	1,0	0,5	0,6	4,8	6,8
10	0,8	1,2	0,6	1,1	5,6	8,2
11	0,9	1,5	0,4	0,4	4,8	5,5
12	1,2	0,7	1,4	1,2	7,2	6,8
13	1,0	1,0	0,9	1,1	5,3	6,0
∅	0,9	1,0	0,7	0,8	5,9	6,7
Diff. % P/Z	13,0		15,7		12,8	
(Anova)	*		*		***	

Mittelwerte aus je 2 analytischen Parallelen. Z = Zellulosetriacetat Filter; P = Polysulfon Filter; Diff. % P/Z entspricht der durchschnittlichen Differenz im % zwischen den mit verschiedenen Filtern extrahierten EUF-N-Fractionen; Anova = Zweifaktorielle Varianzanalyse mit Meßwiederholung; *, *** entsprechen signifikante Differenzen für p < 5% bzw. p < 0,1 %.

Die größten Differenz zwischen beiden Filtern wies der NO₃⁻-N mit durchschnittlich 15,7 % auf.

Diese konnte jedoch nur schwach signifikant abgesichert werden (p < 5 %). Eine deutlich höhere Menge an Norg wurde mit Polysulfon Filtern bei der 80° Fraktion extrahiert als mit Zellulosetriacetat Filtern. Hier war der Polysulfon Filter mit durchschnittlich 12,8 % dem

Zellulosetriacetat Filter überlegen. Auch die Mengen an NH_4^+ -N waren im Durchschnitt der 13 Böden mit 13,0 % etwa höher als die Werte von Zellulosetriacetat Filtern.

Tabelle 17 zeigt die gesamten N-Mengen an NH_4^+ , NO_3^- und Norg in den EUF-Extrakten der 20°C+80°C Fraktion, gewonnen durch Extraktion mit Zellulosetriacetat- und Polysulfon Filtern.

Tab. 17: N-Konzentrationen in den EUF-Extrakten der 20°C+80°C Fraktion der Böden zu Versuchsbeginn, gewonnen durch Extraktion mit verschiedenen Filtern; (mg N kg^{-1} Boden)

Boden Nr.	20°C+80°C Fraktion					
	NH_4^+ -N		NO_3^- -N		Norg	
	Z	P	Z	P	Z	P
1	2,9	3,3	12,0	11,3	17,5	16,9
2	3,2	2,7	9,6	8,7	23,6	18,8
3	3,5	2,3	3,9	3,8	17,6	15,7
4	2,6	2,5	11,0	10,0	26,6	23,8
5	3,1	2,8	14,2	13,8	27,8	24,4
6	3,0	3,0	4,2	3,9	21,8	21,3
7	2,5	2,9	11,1	9,5	17,4	17,4
8	2,3	2,8	3,1	2,8	13,5	15,0
9	2,4	3,0	8,6	7,9	18,2	17,9
10	2,7	3,0	9,6	8,9	20,6	22,0
11	2,5	3,4	5,8	5,0	16,2	15,4
12	3,0	2,2	15,8	14,5	22,2	19,2
13	2,7	2,6	16,0	14,3	18,6	18,7
Ø	2,8	2,8	9,6	8,8	20,1	18,9
Diff. % P/Z	0,4		-8,4		-5,9	
(Anova)	n.s.		***		*	

Mittelwerte aus je 2 analytischen Parallelen. Z = Zellulosetriacetat Filter; P = Polysulfon Filter; Diff. % P/Z entspricht der durchschnittlichen Differenz im % zwischen den mit verschiedenen Filtern extrahierten EUF-N-Fractionen; Anova = Zweifaktorielle Varianzanalyse mit Meßwiederholung; *, *** entsprechen signifikante Differenzen für $p < 5\%$ bzw. $p < 0,1\%$; n.s.=nicht signifikant.

Mit Ausnahme der Böden 8 und 10 wurde aus den Versuchsböden insgesamt weniger organischer Stickstoff mit Polysulfon Filtern extrahiert als mit Zellulosetriacetat Filtern. Die Norg-Gehalte wiesen eine schwach signifikante Differenz zwischen beiden Filtern mit

durchschnittlich 5,9 % ($p < 5 \%$) auf. Für die NO_3^- -Konzentrationen war die Differenz zwischen Polysulfon- und Zellulosetriacetat Filtern hoch signifikant ($p < 0,1 \%$) größer als bei Norg. Mit Polysulfon Filtern wurde im Durchschnitt der 13 Böden 8,4 % weniger NO_3^- -N extrahiert als mit Zellulosetriacetat Filtern. Die Differenz zwischen den mit verschiedenen Filtern extrahierten NH_4^+ -N-Gehalten war statistisch nicht gesichert.

Abb. 2: Vergleich des durchschnittlichen EUF-Norg-Musters der $20^\circ\text{C}+80^\circ\text{C}$ Fraktion von 13 Böden zu Versuchsbeginn, gewonnen durch Extraktion mit Zellulosetriacetat- und Polysulfon Filtern

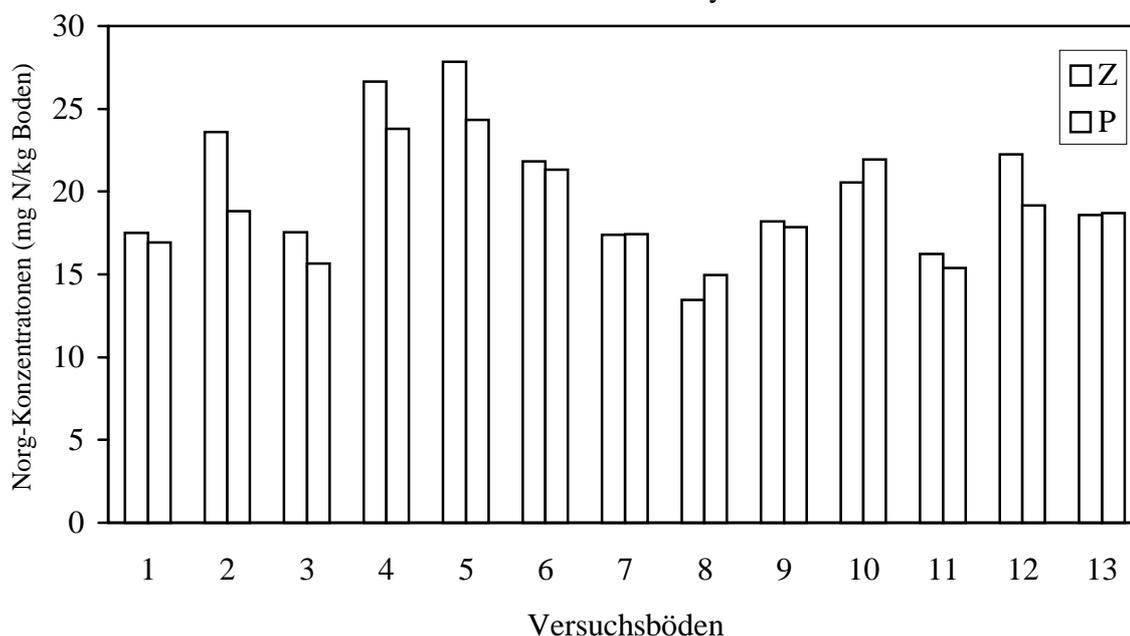


Abbildung 2 ermöglicht einen Vergleich des gesamten organischen Stickstoffs, der mit Zellulosetriacetat- und Polysulfon Filtern extrahiert wurde. Aufgetragen sind die Mittelwerte des EUF-Norg der $20^\circ\text{C}+80^\circ\text{C}$ Fraktion der Böden zu Versuchsbeginn.

Überraschend wurde durch Extraktion mit Polysulfon Filtern weniger Stickstoff erfaßt als mit Zellulosetriacetat Filtern, obwohl die Ultrafilter aus Polysulfon 5 fach größere Poren haben als Zellulosetriacetat Filter. Die beiden Filter sind asymmetrisch und haben den gleichen Durchmesser (25 mm), bzw. die gleiche Oberfläche. Es darf aber angenommen werden, daß die Polysulfon Filter eine geringere Porenzahl pro Einheit der Oberfläche haben als die Zellulosetriacetat Filter, weil ihre Poren 5 fach größer sind. Im Gegensatz dazu sind die Zellulosetriacetat Filter passierbar nur für Moleküle mit Molekulargewicht bis 20 kDa.

Während der Elektro-Ultrafiltration wandern die negativ geladenen Tonminerale zur Anode und unterstützt vom Saugdruck, bleiben sie am Anodenfilter haften. Durch diese

Tonansammlung wird die Wasserdurchlässigkeit des Anodenfilters herabgesetzt. Mit steigendem Tongehalt des Bodens fließen zur Anode weniger Anionen, bzw. organische Verbindungen durch (Nemeth 1976).

Daher wurden in der vorliegenden Arbeit nach der EUF-Analyse die Ultrafilter untersucht. Es konnte eine größere Anlagerung der Bodenteilchen am Polysulfon Anodenfilter festgestellt werden als am Zellulosetriacetat Filter. Dies deutet darauf hin, daß die Stickstoffverbindungen teilweise am Polysulfon Anodenfilter zurückgehalten werden und erklärt, weshalb die Konzentrationen an NO_3^- und Norg in den „Polysulfon“ EUF-Extrakten etwas niedriger lagen.

Trotz der unerwarteten geringen Norg-Konzentrationen in den „Polysulfon“ EUF-Extrakten wurde überprüft, ob der α -Amino-N direkt in Extrakten bestimmt werden kann. Die α -Amino-N-Fraktion konnte jedoch mit der Ninhydrin Methode ohne Einengung der Extrakte quantitativ nicht erfaßt werden. Auf eine Einengung der „Polysulfon“ Extrakte wurde weiterhin in der vorliegenden Arbeit verzichtet.

3.6.2. Beziehungen zwischen verschiedenen Bodenkenndaten und den Stickstofffraktionen in „Polysulfon“ EUF-Extrakten

Neben den Beziehungen allgemeiner Bodenkenndaten zu „Polysulfon“ EUF-N-Fractionen war von Interesse zu überprüfen, in welchen Zusammenhang die „Polysulfon“ Extraktvolumina sowie die „Zellulosetriacetat“ α -Amino-N-Konzentrationen zu den „Polysulfon“ EUF-N-Fractionen stehen. Diese Zusammenhänge wurden durch Berechnung einfach linearer Regressionen ermittelt.

In Tabelle 18 sind die Korrelationskoeffizienten der zu Versuchsbeginn verschiedenen Bodenkenndaten zu den N-Fractionen der „Polysulfon“ EUF-Extrakte der 20°C+80°C Fraktion zusammengefaßt. Die Einzelwerte der 20°C- und 80°C Fraktion sind Tabelle A7, bzw. A8 im Anhang zu entnehmen.

Die Korrelationskoeffizienten der „Polysulfon“ N-Fractionen *versus* anderen Bodenkenndaten zeigten die gleiche Tendenz wie die der „Zellulosetriacetat“ N-Fractionen. Die Beziehungen waren jedoch weniger eng. Nur der Koeffizient des „Polysulfon“ Norg zur α -Amino-N-Fraktion war etwa höher ($r = 0,78^{**}$) als der Koeffizient des „Zellulosetriacetat“ Norg ($r =$

0,68**). Der EUF-Norg der „Polysulfon“ Extrakte wies eine schwach signifikant positive Beziehung zur Tonfraktion der Böden auf ($r = 0,65^*$). Im Gegensatz dazu zeichnete sich bei der „Zellulosetriacetat“ Extraktion eine hoch signifikant positive Beziehung ($r = 0,83^{***}$) zwischen EUF-Norg und der Tonfraktion ab (siehe Tabelle 11).

Tab. 18: Korrelationskoeffizienten (r) verschiedener Bodenkenndaten *versus* N-Fractionen der „Polysulfon“ EUF-Extrakte der 20°C+80°C Fraktion zu Versuchsbeginn (T_0); $n = 13$

	EUF-Extraktion mit Polysulfon Filtern			
	20°C+80°C Fraktion			
	NH ₄	NO ₃	Norg	Ex.-Vol.
Ex.-Vol. ¹⁾	0,09	-0,47	-0,68**	/
Ton	-0,34	0,34	0,65*	-0,80***
Schluff	-0,31	0,32	0,27	-0,37
Sand	0,38	-0,39	-0,45	0,57*
α -Amino-N ²⁾	-0,15	0,37	0,78**	-0,31
Nmin	-0,11	0,95***	0,28	/
N _t	-0,07	0,45	0,81***	/
C _t	0,03	0,39	0,83***	/
C/N	0,24	-0,51	-0,51	/
pH-Wert	-0,24	0,41	0,54	/

1) Extraktvolumina, 2) α -Amino-N der „Zellulosetriacetat“ EUF-Extrakte

Signifikanz: *, **, *** entsprechen $p < 5\%$, 1% , $0,1\%$

Mit Ausnahme der Nmin-Gehalte konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen der mit Polysulfon Filtern extrahierten Nitrat-Menge und den Bodenkenndaten gefunden werden. Das EUF-NO₃⁻ korrelierte eng ($r = 0,95^{***}$) mit dem Nmin-Gehalt, weil es sich um die selbe Fraktion im Boden handelt.

Auch waren keinerlei signifikante Zusammenhänge zwischen den Bodenkenndaten zu Versuchsbeginn und den NH₄⁺-Gehalte der „Polysulfon“ EUF-Extrakte zu erkennen. Interessant waren die Beziehungen der „Polysulfon“ Extraktvolumina zu den Korngrößenfraktionen der Böden. Die gemessenen Extraktmengen zeigten eine hoch signifikant negative Beziehung zum Tongehalt der Böden ($r = -0,80^{***}$). Dies deutet darauf

hin, daß mit steigendem Tongehalt eines Bodens das EUF-Extraktvolumen abnimmt. Dagegen wies die Extraktmenge einen schwach signifikant positiven Zusammenhang zur Sandfraktion ($r = 0,57^*$) auf.

Nach Nemeth (1976) werden bei der Elektro-Ultrafiltration in der Mittelzelle von der Bodensuspension um so mehr Ionen zur Kathode und Anode wandern, je mehr Wasser an beiden Seiten durchfließt. Das gilt besonders für die Anionen, da die Menge der Anodenflüssigkeit vom Tongehalt abhängt. Je höher der Tongehalt des Bodens ist, um so weniger Wasser kann durch die Anode durchfließen, und um so weniger Anionen werden extrahiert. Der Tongehalt ist demnach mit dem durch die Anode durchgeflossenen Wasser umgekehrt proportional. Dies konnte auch mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit bestätigt werden.

Es wurde keine signifikante Beziehung zwischen α -Amino-N-Fraktion und dem Extraktvolumen gefunden. Interessanterweise zeigte die „Polysulfon“ Extraktmenge einen negativ signifikanten Zusammenhang zur Norg-Fraktion ($r = -0,68^{**}$). Es ist anzunehmen, daß einige Bruchstücke von Proteinen oder Peptiden, die kationisch an den negativgeladenen Tonmineralen oberflächlich gebunden sind, desorbiert werden können und zur Kathode wandern. Sie fließen danach mit dem Wasser durch die Kathode in das Kathodenfiltrat durch. Der am Anodenfilter angelagernte Ton verstopft teilweise die Filterporen und läßt weniger Wasser durchfließen. Zusammen mit dem Wasser wird teilweise auch das weitere Übertreten von Anionen bzw. organische Verbindungen in das Anodenfiltrat verhindert. So könnte eventuell die Filtratmenge des Anodenfilters niedriger sein als die des Kathodenfilters. Der Anoden- und Kathodenextrakt wird aber vereinigt aufgefangen und je höher solche extrahierte Menge ist, um so niedriger könnten die Norg-Konzentrationen im gesamten EUF-Extrakt sein.

3.6.3 Beziehungen der Norg-Fraktion der „Polysulfon“ EUF-Extrakte zur Netto-N-Mineralisation während der Inkubationsperiode

Die Beziehungen der mit Polysulfon Filtern extrahierten EUF-Norg-Fraktion zur Netto-N-Mineralisation wurden durch Berechnung einfach linearer Regressionen charakterisiert. In Tabelle 19 sind die Korrelationskoeffizienten (r) der Norg-Fraktion der „Polysulfon“ EUF-Extrakte zu Versuchsbeginn *versus* Netto-N-Mineralisation in Böden über den gesamten

Versuchszeitraum (6 Probenahmetermine) aufgeführt. Die Berechnung der Netto-N-Mineralisation ist bereits im Abschnitt 3.5 beschrieben worden.

Die Beziehungen der „Polysulfon“ Norg-Fractionen zur Netto-N-Mineralisation zeigten am Anfang der Inkubation ein ähnliches Bild wie bei „Zellulosetriacetat“ Norg. Sie wiesen keine signifikante Zusammenhänge zu den mineralisierten N-Mengen der ersten drei Probenahmetermine auf.

Tab. 19: Korrelationskoeffizienten (r) der organischen N-Fractionen in „Polysulfon“ EUF-Extrakten zum Verlauf der Netto-N-Mineralisation über 6 Termine; $n=13$

	Netto-N-Mineralisation					
	T ₄	T ₇	T ₂₀	T ₄₁	T ₆₁	$\Delta N_{\min T(61-0)}$
"Polysulfon"- EUF-Norg						
20°C	0,24	0,15	0,39	0,72**	0,70**	0,71**
80°C	-0,09	0,49	0,08	0,47	0,48	0,42
20°C+80°C	0,15	0,27	0,32	0,69**	0,68**	0,66*

Signifikanz: *, **, entsprechen $p < 5\%$, 1% ,

Zum Zeitpunkt T₄₁ zeigte der „Polysulfon“ Norg der 20°C Fraktion einen signifikant positiven Zusammenhang zur Netto-N-Mineralisation ($r = 0,72^{**}$). Diese Beziehung war enger als bei „Zellulosetriacetat“ Norg der 20°C Fraktion ($r = 0,59^*$) zu dem selben Probenahmetermin (siehe Tabelle 12). Der Korrelationskoeffizient des „Polysulfon“ Norg blieb auf dem gleichen Signifikanzniveau auch zum letzten Probenahmetermin ($r = 0,70^{**}$) Dagegen ergab sich ein nicht signifikanter Koeffizient des „Zellulosetriacetat“ Norg zur mineralisierten Stickstoffmenge des letzten Termins (Tabelle 12).

Zu den letzten beiden Terminen konnten enge positive Beziehungen zwischen „Zellulosetriacetat“ Norg der 80°C Fraktion und der Netto-N-Mineralisation gefunden werden (T₄₁ $r = 0,78^{**}$; T₆₁ $r = 0,75^{**}$). Im Gegensatz dazu waren über den gesamten Versuchszeitraum keinerlei signifikante Zusammenhänge zwischen Norg-Gehalte der „Polysulfon“ EUF-Extrakte der 80°C Fraktion und den mineralisierten Stickstoffmengen zu erkennen.

Vom Zeitpunkt T_{41} an waren auch für den „Polysulfon“ Norg der $20^{\circ}\text{C}+80^{\circ}\text{C}$ Fraktion signifikant positive Korrelationen zu verzeichnen (T_{41} $r = 0,69^{**}$; T_{61} $r = 0,68^{**}$). Der „Zellulosetriacetat“ Norg der $20^{\circ}\text{C}+80^{\circ}\text{C}$ Fraktion wies zu den letzten beiden Terminen nur schwach signifikant positive Beziehungen zur Netto-N-Mineralisation auf (T_{41} $r = 0,67^{*}$; T_{61} $r = 0,62^{*}$). Die Korrelationskoeffizienten des „Zellulosetriacetat“ Norg ($r = 0,62^{*}$) und „Polysulfon“ Norg ($r = 0,66^{*}$) der $20^{\circ}\text{C}+80^{\circ}\text{C}$ Fraktion zur gesamten Netto-N-Mineralisation der Böden [$\Delta N_{\text{min}(T_{61}-0)}$] blieben zu Versuchsende auf dem gleichen Signifikanzniveau.

Die gefundenen Beziehungen weisen darauf hin, daß die beiden mit verschiedenen EUF-Filtern extrahierten organischen N-Fractionen von Bedeutung für die Charakterisierung der Netto-N-Mineralisation im Boden sein können.

3.7 EUF-Norg-Gehalte in den „Zellulosetriacetat“- und „Polysulfon“-Extrakten der belgischen Böden und ihre Beziehungen zur Netto-N-Mineralisation

Im Rahmen einer Zusammenarbeit mit der EUF-Arbeitsgemeinschaft zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit und -gesundheit (Südzucker AG, Ochsenfurt) wurden in den Untersuchungen der vorliegenden Arbeit noch 11 Böden aus Belgien auf ihre Gehalte an Norg analysiert. Die EUF-Extraktion der Versuchsböden erfolgte sowohl mit Zellulosetriacetat- als auch mit Polysulfon Filtern. Die mit zwei verschiedenen Ultrafiltern extrahierten Norg-Gehalte sind in Tabelle 20 zusammengefaßt.

Die mit Zellulosetriacetat- und Polysulfon Filtern extrahierten organischen EUF-N-Fractionen der belgischen Böden zeigten ein ähnliches Bild, wie bei deutschen Böden. Die „Polysulfon“ Norg-Konzentrationen der 20°C Fraktion der 11 Böden waren deutlich niedriger als die Werte von „Zellulosetriacetat“ Norg. Die Differenz zwischen den mit verschiedenen Filtern extrahierten Norg-Mengen der 20°C Fraktion lag durchschnittlich bei ca. 19%. Bei der 80°C Fraktion wurde mit Polysulfon Filtern etwas mehr organischer Stickstoff extrahiert als mit Zellulosetriacetat Filtern. Die durchschnittliche Differenz von ca. 8 % zwischen den beiden Filtern konnte jedoch statistisch nicht abgesichert werden. Mit Ausnahme des Bodens 5, der den gleichen Wert ($15,7\text{mg N kg}^{-1}$ Boden) für die beiden Filter aufwies, wurde aus den Versuchsböden insgesamt weniger organischer Stickstoff mit Polysulfon Filtern extrahiert als

mit Zellulosetriacetat Filtern. Die Norg-Gehalte der 20°C+80°C wiesen eine signifikante Differenz zwischen den beiden Filtern mit durchschnittlich 11,8 % auf.

Tab.20: Norg-Konzentrationen in den EUF-Extrakten der belgischen Böden zu Versuchsbeginn, gewonnen durch Extraktion mit verschiedenen Filtern; (mg N kg⁻¹ Boden)

Boden Nr.	Norg-Konzentrationen					
	20°C Fraktion		80°C Fraktion		20°C+80°C Fraktion	
	Z	P	Z	P	Z	P
1	16,8	13,5	8,3	8,6	25,1	22,2
2	14,8	12,4	4,6	5,8	19,4	18,2
3	14,5	12,5	5,4	6,6	19,9	19,0
4	12,3	8,5	4,9	6,1	17,2	14,7
5	11,8	10,6	4,0	5,0	15,7	15,7
6	16,4	12,3	6,4	5,9	22,8	18,1
7	12,4	10,3	4,4	5,1	16,9	15,4
8	17,0	13,2	5,9	5,0	22,9	18,2
9	18,5	13,9	5,2	5,4	23,6	19,3
10	17,1	13,7	5,3	5,9	22,4	19,7
11	14,8	13,9	5,1	4,9	19,9	18,8
∅	15,1	12,3	5,4	5,8	20,5	18,1
Diff. % P/Z	-18,9		7,9		-11,8	
(Anova)	***		n.s.		***	

Mittelwerte aus je 2 analytischen Parallelen. Z = Zellulosetriacetat Filter; P = Polysulfon Filter; Diff. % P/Z entspricht der durchschnittlichen Differenz im % zwischen den mit verschiedenen Filtern extrahierten EUF-N-Fractionen; Anova = Zweifaktorielle Varianzanalyse mit Meßwiederholung; *** entspricht die signifikante Differenz für $p < 0,1$ %; n.s. = nicht signifikant.

In Tabelle 21 sind die von belgischen Kollegen ermittelten Nmin-Gehalte (kg N ha⁻¹) der Versuchsböden im Verlaufe der Inkubationsperiode sowie die Netto-N-Mineralisation zu Versuchsende dargelegt. Die Nmin-Gehalte der Böden unterschieden sich im Durchschnitt signifikant von T₀ zu T₁₇₂. Alle 11 Böden zeigten über den gesamten Versuchszeitraum signifikante Zunahmen der mineralisierten N-Mengen. Nur zwischen T₁₁₃ und T₁₅₆ erfolgte

bei Boden 1 ($-4,6 \text{ kg N ha}^{-1}$), Boden 3 ($-4,2 \text{ kg N ha}^{-1}$) und Boden 11 ($-0,7 \text{ kg N ha}^{-1}$) noch eine geringfügige Netto-N-Immobilisierung. Am Probenahmetermin T_{172} (Versuchsende) war bei Boden 4 ($-0,8 \text{ kg N ha}^{-1}$) eine Netto-N-Immobilisierung zu beobachten. Die Werte der Netto-N-Mineralisation der Versuchsböden zu jedem Probenahmetermin sind in Tabelle 22 aufgelistet. Die Netto-N-Immobilisation der Böden 1, 3 und 11 zu T_{156} sowie Boden 4 zu T_{172} ist an den negativen Vorzeichen zu erkennen.

Tab. 21: Nmin-Gehalte der feuchten Böden zu Versuchsbeginn (T_0) sowie zum jeweiligen Probenahmetermin (T_x) und Netto-Nmin (kg N ha^{-1})

Boden Nr.	Nmin-Gehalte (kg N ha^{-1})					$\Delta\text{Nmin}_{(T_{172}-T_0)}$
	19. Apr. T_0	12. Jun. T_{54}	20. Aug. T_{113}	02. Okt. T_{156}	18. Okt. T_{172}	
1	101,7	179,0	270,4	265,9	276,9	175,2
2	55,8	104,1	212,9	236,7	247,9	192,1
3	81,5	136,3	228,8	224,6	238,0	156,5
4	56,4	118,0	158,1	171,2	170,4	114,0
5	47,3	99,4	140,3	172,4	176,6	129,3
6	65,1	134,2	219,1	247,1	254,7	189,6
7	69,8	130,6	162,9	172,8	184,3	114,5
8	209,5	300,4	401,9	422,1	426,0	216,5
9	90,2	184,9	281,4	319,8	330,8	240,6
10	85,6	184,8	236,5	253,8	263,9	178,2
11	42,8	79,3	147,0	146,3	158,7	115,9
Ø	82,3	150,1	223,6	239,3	248,0	165,7
t-Test (PVT)	---	***	***	**	***	

Mittelwerte aus je 2 Parallelen. Die Termine entsprechen der jeweiligen Anzahl an Tagen nach Ansetzen des Inkubationsversuches; $\Delta\text{Nmin}_{(T_{172}-T_0)}$ = Gesamte Netto-N-Mineralisation zu Versuchsende; PVT=Paarvergleichstest von abhängigen Stichproben; signifikante Veränderungen von einem Beprobungstermin zum nächsten; **, *** entsprechen $p < 1\%$; 0,1%.

Die intensivste Netto-N-Mineralisation fand auf dem Boden 9 mit 240 kg N ha^{-1} statt, obwohl er nicht den höchsten Gehalt an Norg aufwies. Der niedrigste Wert der Netto-N-Mineralisation lag mit 114 kg N ha^{-1} bei Boden 4. Aus diesem Boden wurde auch die niedrigste Menge an Norg ($14,7 \text{ mg N kg}^{-1}$ Boden) mit Polysulfon Filtern extrahiert, nicht jedoch mit Zellulosetriacetat Filtern ($17,2 \text{ mg N kg}^{-1}$ Boden). Im Durchschnitt über alle 11 Böden waren die höchsten Mineralisationsraten zwischen T_{54} und T_{113} zu beobachten (Tabelle

22). Auch Boden 1 und 3, die zum Probenahmetermin T₁₅₆ eine gewisse Immobilisierung zeigten, zeichneten sich, besonders zu diesen Terminen, durch hohe Mineralisationsraten aus.

Tab. 22: Netto-N-Mineralisation zum jeweiligen Probenahmetermin (T_x) und zu Versuchsende (kg N ha⁻¹)

Boden Nr.	Netto-N-Mineralisation (kg N ha ⁻¹)				$\Delta N_{\min(T_{172}-T_0)}$
	12. Jun. T ₅₄	20. Aug. T ₁₁₃	02. Okt. T ₁₅₆	18. Okt. T ₁₇₂	
1	77,3	91,5	-4,6	11,0	175,2
2	48,3	108,8	23,7	11,2	192,1
3	54,8	92,5	-4,2	13,4	156,5
4	61,6	40,1	13,1	-0,8	114,0
5	52,1	41,0	32,1	4,2	129,3
6	69,1	85,0	28,0	7,6	189,6
7	60,8	32,3	10,0	11,5	114,5
8	91,0	101,5	20,2	3,9	216,5
9	94,7	96,5	38,4	11,0	240,6
10	99,2	51,7	17,3	10,1	178,2
11	36,6	67,7	-0,7	12,4	115,9
Ø	67,8	73,5	15,8	8,7	165,7

$\Delta N_{\min(T_{172}-T_0)}$ = Gesamte Netto-N-Mineralisation zu Versuchsende

Die Berechnung der Netto-N-Mineralisation zu den jeweiligen Probenahmeterminen und zu Versuchsende ist bereits im Abschnitt 3.5 beschrieben worden.

Um die Bedeutung der mit Zellulosetriacetat- und Polysulfon Filtern extrahierten EUF-Norg-Fractionen für die Netto-N-Mineralisation festzustellen, wurden die Beziehungen durch einfach lineare Regressionen berechnet. In Tabelle 23 sind die Korrelationskoeffizienten (r) der Norg-Fractionen in „Zellulosetriacetat“- und „Polysulfon“- EUF-Extrakten zu Versuchsbeginn *versus* Netto-N-Mineralisation in Böden über den gesamten Versuchszeitraum (5 Probenahmetermine) aufgeführt.

Die organischen N-Fractionen (20°C und 20°C+80°C) der „Zellulosetriacetat“- EUF-Extrakte zeigten am Anfang der Inkubation der Böden bis zum Zeitpunkt T₁₁₃ schwach signifikant

positive Zusammenhänge zur Netto-N-Mineralisation ($r = 0,71^*$; $r = 0,68^*$ bzw. $r = 0,66^*$; $r = 0,67^*$). Im weiteren Verlauf bis zum letzten Probenahmetermin ließen sie sich keine signifikante Beziehungen aufzeigen. Dagegen wiesen die Norg-Fractionen (20°C und $20^\circ\text{C}+80^\circ\text{C}$) der „Polysulfon“ EUF-Extrakte am Anfang der Inkubation der Böden (T_{54}) zur Netto-N-Mineralisation keine signifikante Beziehungen auf. Sie zeigten schwach signifikant positive Beziehungen nur zum Zeitpunkt T_{113} ($r = 0,64^*$; $r = 0,65^*$). Zur mineralisierten Stickstoffmenge des letzten Probenahmetermins (T_{172}) wurde auch ein schwach signifikant positiver Zusammenhang der „Polysulfon“ Norg der 20°C Fraktion gefunden ($r = 0,63^*$).

Tab. 23: Korrelationskoeffizienten (r) der organischen N-Fractionen in „Polysulfon“- und „Zellulose-triacetat“-EUF-Extrakten der belgischen Böden im Verlauf der Netto-N-Mineralisation über 5 Termine; $n=11$

	Netto-N-Mineralisation				$\Delta N_{\text{min}(T_{172}-T_0)}$
	12. Jun. T_{54}	20. Aug. T_{113}	02. Okt. T_{156}	18. Okt. T_{172}	
EUF-Norg					
Zellulose 1)					
20°C	0,71*	0,68*	0,16	0,34	0,86***
80°C	0,37	0,47	-0,39	0,14	0,36
$20^\circ\text{C}+80^\circ\text{C}$	0,66*	0,67*	-0,04	0,31	0,76***
Polysulfon 2)					
20°C	0,36	0,64*	-0,07	0,63*	0,62*
80°C	0,17	0,27	-0,50	0,17	0,10
$20^\circ\text{C}+80^\circ\text{C}$	0,38	0,65*	-0,30	0,59	0,55

1) Zellulose-triacetat Filter; 2) Polysulfon Filter; Signifikanz: *, ***, entsprechen $p < 5\%$; 0,1%.

Über den gesamten Versuchszeitraum konnte keine signifikante Beziehung zwischen dem mit zwei verschiedenen Filtern extrahierten Norg der 80°C Fraktion und der Netto-N-Mineralisation nachgewiesen werden. Zum Zeitpunkt T_{156} ergaben sich negative, jedoch nicht signifikante Korrelationskoeffizienten. Das deckt sich mit dem Befund, daß zu diesem Zeitpunkt einige Böden eine N-Immobilisierung aufwiesen.

Auffällig hoch und deutlich enger als die Beziehungen des „Polysulfon“ Norg ($r = 0,62^*$) zur gesamten Netto-N-Mineralisation waren die Koeffizienten des „Zellulose-triacetat“ Norg der 20°C Fraktion sowie $20^\circ\text{C}+80^\circ\text{C}$ Fraktion zu Versuchsende ($r = 0,86^{***}$; bzw. $r = 0,76^{***}$).

Dies deutet darauf hin, daß die mit Zellulosetriacetat Filtern extrahierten Norg-Fractionen eine höhere Bedeutung für die Charakterisierung der Netto-N-Mineralisation haben als die „Polysulfon“ Norg-Fractionen.

Aus den Ergebnissen von deutschen und belgischen Böden wurde abgeleitet, daß mit Polysulfon Filtern im Vergleich zu den Zellulosetriacetat Filtern keine höheren Konzentrationen an organischen N-Fractionen extrahiert werden konnten. Darüber hinaus zeigten die Beziehungen der Norg-Gehalte in den „Zellulosetriacetat“ EUF-Extrakten zur Netto-N-Mineralisation ein höheres Signifikanzniveau als die Beziehungen des „Polysulfon“ Norg. Von höherer Aussagekraft für die Netto-N-Mineralisation war besonders der α -Amino-N der 20°C Fraktion ($r = 0,74^{**}$) bei den deutschen Böden sowie Norg der 20°C Fraktion ($r = 0,86^{***}$) bei den belgischen Böden. Deshalb wurde weiterhin in den Untersuchungen der vorliegenden Arbeit auf die Anwendung der Polysulfon Filter verzichtet.

4. Ergebnisse des Gefäßversuches

4.1 Verlauf der EUF-N-Fractionen während der Versuchsdauer

Die ausgewählten Böden unterschieden sich hinsichtlich ihrer Gehalte an NH_4^+ , NO_3^- und Norg während der Versuchsdauer. Aus Platzgründen werden in den folgenden Tabellen nur die N-Konzentrationen der $20^\circ\text{C}+80^\circ\text{C}$ EUF-Fraktion vorgestellt. Die Einzelwerte der 20°C - und 80°C Fraktion sind den Tabellen A9 bis A14 im Anhang zu entnehmen.

In Tabelle 24 sind die NH_4^+ -Konzentrationen der bewachsenen Böden zu Versuchsbeginn (T_0) sowie zum jeweiligen Probenahmetermin (T_x) dargestellt.

Die NH_4^+ -Konzentrationen der Ausgangsböden betragen 1,2 - 3,1 mg N kg^{-1} Boden. Von Versuchsbeginn (T_0) bis zum 1.Grasschnitt (T_{76}) konnten keine signifikante Veränderungen der NH_4^+ -Konzentrationen in Böden nachgewiesen werden. Ihre Zunahme zur Aussaat (T_{48}) konnte statistisch nicht abgesichert werden. Mit Ausnahme des Bodens 11 und 12, die gleiche Werte aufwiesen (1,8 mg N kg^{-1} Boden bzw. 2,1 mg N kg^{-1} Boden), zeigten die anderen Böden eine signifikante NH_4^+ -Abnahme von 1.Schnitt (T_{76}) bis zum 2.Schnitt (T_{106}). Diese Abnahme war auch zu Versuchsende (T_{155}) zu beobachten. Es wurde jedoch festgestellt, daß die NH_4^+ -Konzentrationen in Böden über den gesamten Versuchszeitraum sehr niedrig lagen. Abbildung 3 zeigt den NH_4^+ -Verlauf der EUF-Einzelfractionen während der Versuchsdauer.

Im Durchschnitt über alle 20 Böden wiesen die NH_4^+ -Konzentrationen der 20°C Fraktion signifikante Veränderungen während der gesamten Versuchsperiode auf. Sie nahmen von Versuchsbeginn bis zur Aussaat etwas zu und im weiteren Verlauf bis zu Versuchsende zeigten sie eine signifikante Abnahme. Bei der 80°C Fraktion, die deutlich geringere Menge an NH_4^+ als die 20°C Fraktion enthielt, zeichnete sich kaum eine Veränderung des NH_4^+ ab. Nur von 1.- bis zum 2.Schnitt konnte im Durchschnitt der 20 Böden ein signifikant kleiner Abfall des Ammoniums identifiziert werden. Dies erklärt, weshalb bei der $20^\circ\text{C}+80^\circ\text{C}$ Fraktion von Versuchsbeginn bis zum 1.Schnitt keine signifikante Veränderungen der NH_4^+ -Gehalte gefunden werden konnten.

Tab. 24: NH_4^+ -Konzentrationen der bewachsenen Böden während der Versuchsdauer
(mg N kg⁻¹ Boden)

Boden Nr.	20°C+80°C EUF-Fraktion				
	NH_4^+ -Konzentrationen (mg N kg ⁻¹ Boden)				
	Anfang	Aussaat	1.Schnitt	2.Schnitt	3.Schnitt
	05. Mai	22. Jun.	20. Jul.	19. Aug.	07. Okt.
	T ₀	T ₄₈	T ₇₆	T ₁₀₆	T ₁₅₅
1	2,5	2,5	2,1	1,4	1,5
2	1,4	1,6	1,7	1,0	1,1
3	1,3	1,6	1,5	1,1	1,2
4	1,4	1,7	1,5	1,1	1,1
5	1,7	2,1	1,8	1,4	1,4
6	1,5	1,8	1,6	1,2	1,1
7	1,3	2,0	1,7	1,3	1,2
8	1,2	1,5	2,3	1,1	1,0
9	3,1	2,6	2,0	1,4	1,3
10	1,6	1,6	1,8	1,5	1,0
11	1,2	1,7	1,8	1,8	1,2
12	1,4	3,3	2,1	2,1	1,3
13	1,6	2,0	2,2	1,9	1,6
14	1,8	1,9	2,1	1,6	1,3
15	2,8	2,2	2,3	2,1	1,4
16	2,2	2,0	1,9	1,8	1,4
17	2,7	2,2	2,1	2,0	1,6
18	1,8	1,9	2,0	1,9	1,4
19	1,3	1,5	1,2	1,0	0,7
20	1,8	2,4	2,1	1,9	1,3
∅	1,8	2,0	1,9	1,5	1,2
t-Test (PVT)	---	n.s.	n.s.	***	***

Mittelwerte aus je 4 Parallelen. Die Termine entsprechen der jeweiligen Anzahl an Tagen nach Ansetzen des Gefäßversuches; PVT = Parvergleichtest von abhängigen Stichproben; signifikante Veränderungen von einem Beprobungstermin zum nächsten; (***) entspricht $p < 0,1\%$; n.s. = nicht signifikant.

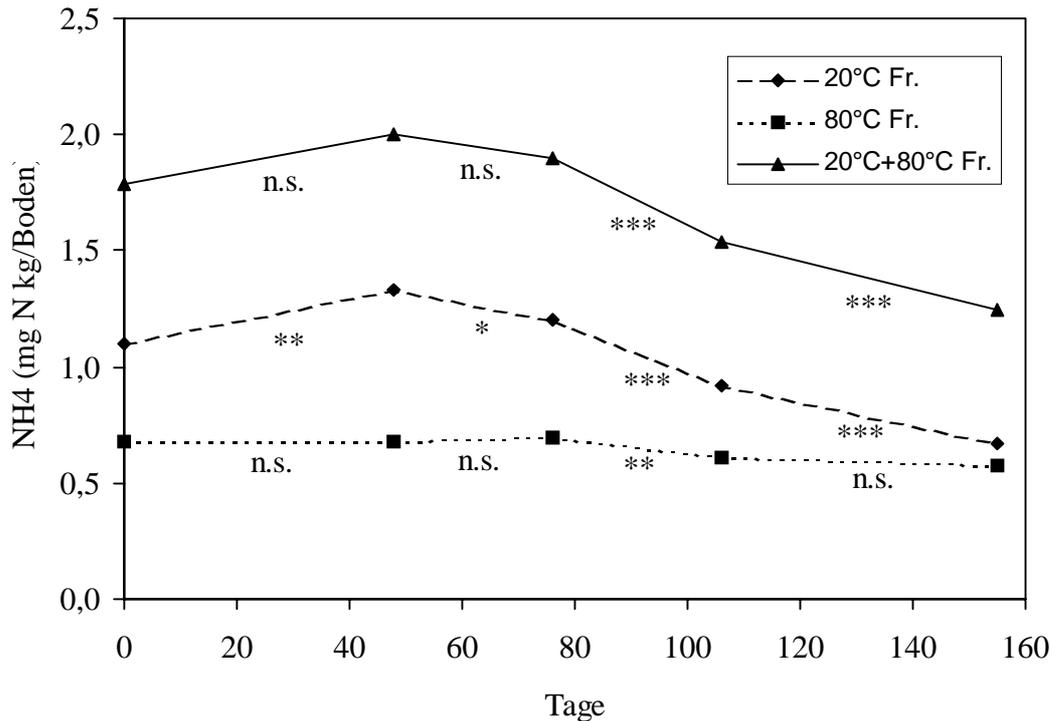


Abb. 3 Verlauf der durchschnittlichen NH_4^+ -Gehalte der EUF-Fractionen der 20 Böden

während der Versuchsdauer (mg N kg^{-1} Boden). Die Signifikanzzeichen beziehen sich auf die Unterschiede zwischen benachbarten Probenahmeterminen.

Die NO_3^- -Konzentrationen in den EUF-Extrakten der 20°C+80°C Fraktion sind in Tabelle 25 aufgeführt. Die EUF-Extrakte der Ausgangsböden enthielten durchschnittlich $27,9 \text{ mg NO}_3^- \text{ N kg}^{-1}$ Boden. NO_3^- war mit $64,4 \text{ mg N kg}^{-1}$ Boden bei Boden 9 am höchsten. Boden 19, der ein Sandboden war, wies dagegen mit $9,0 \text{ mg N kg}^{-1}$ Boden die niedrigste Konzentration an NO_3^- auf. Um den Sollwert auf 20 mg N kg^{-1} Boden zu erreichen, wurde Boden 19 nach der EUF-Analyse zu Versuchsbeginn mit $9,69 \text{ mg N kg}^{-1}$ Boden in Form von $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ aufgedüngt. Die anderen Böden brauchten nicht aufgedüngt zu werden. Auch vor der Aussaat (T_{48}) wiesen Boden 9 und 19 die höchste bzw. die geringste Nitratmenge in den EUF-Extrakten auf ($91,3 \text{ mg N kg}^{-1}$ Boden, bzw. $23,2 \text{ mg N kg}^{-1}$ Boden). Die anderen Böden zeigten auch zu diesem Probenahmetermin (T_{48}) hohe Konzentrationen an NO_3^- in ihren EUF-Extrakten. Von Zeitpunkt T_{76} (1.Schnitt) an waren sehr niedrige Konzentrationen an

NO_3^- in allen Böden zu verzeichnen und sie blieben auf diesem niedrigen Niveau bis zu Versuchsende.

Tab. 25: NO_3^- -Konzentrationen der bewachsenen Böden während der Versuchsdauer (mg N kg^{-1} Boden)

Boden Nr.	20°C+80°C EUF-Fraktion				
	NO_3^- -Konzentrationen (mg N kg^{-1} Boden)				
	Anfang 05. Mai T_0	Aussaat 22. Jun T_{48}	1.Schnitt 20. Jul T_{76}	2.Schnitt 19. Aug T_{106}	3.Schnitt 07. Okt T_{155}
1	34,2	59,9	1,1	1,0	0,5
2	25,0	46,2	1,2	0,7	0,7
3	27,9	50,3	1,2	0,8	0,7
4	19,8	40,3	0,9	0,7	0,6
5	26,8	52,9	1,0	0,8	0,7
6	30,3	50,5	0,9	0,8	0,7
7	24,2	53,0	1,1	0,8	0,7
8	24,1	40,4	1,8	0,7	0,6
9	64,4	91,3	1,3	0,8	0,7
10	26,9	49,5	0,8	0,8	0,5
11	26,7	51,5	0,8	0,7	0,7
12	21,6	50,4	0,9	0,8	0,6
13	18,6	38,4	0,8	0,7	0,5
14	26,6	47,4	0,8	0,9	0,6
15	39,4	57,0	1,0	1,2	0,6
16	17,4	37,5	0,9	1,0	0,6
17	33,5	57,3	0,9	0,8	0,7
18	37,0	52,3	0,7	0,4	0,4
19 ¹⁾	9,0	23,2	0,6	0,3	0,3
20	24,8	38,0	0,7	0,5	0,5
∅	27,9	49,4	1,0	0,7	0,6
t-Test (PVT)	---	***	***	**	***

Parvergleichtest von abhängigen Stichproben; signifikante Veränderungen von einem Beprobungstermin zum nächsten; (**, *** entsprechen $p < 1\%$; $0,1\%$); n.s. = nicht signifikant.

Alle drei NO_3^- -Fraktionen der EUF-Extrakte zeigten im Durchschnitt der 20 Böden vom Versuchsbeginn bis zur Aussaat eine hoch signifikante Steigerung (Abbildung 4). Die NO_3^- -Konzentrationen der 20°C+80°C Fraktion waren zur Aussaat mit durchschnittlich 49,4 mg N kg^{-1} Boden um etwa 21 mg N kg^{-1} Boden höher als in den Extrakten der Ausgangsböden. Von der Aussaat bis zum 1.Grasschnitt erfolgte ein deutlich steiler Abfall der NO_3^- -

Konzentrationen in Böden. Zu diesem Zeitpunkt (T_{76}) lagen sie in den Böden mit durchschnittlich $1,0 \text{ mg N kg}^{-1}$ Boden vor und blieben nahezu auf diesem Niveau bis zu Versuchsende. Obwohl die NO_3^- -Gehalte in den Böden zwischen T_{76} und T_{155} sehr niedrig waren, wiesen sie eine signifikante Abnahme der 20°C - und $20^\circ\text{C}+80^\circ\text{C}$ Fraktion der EUF-

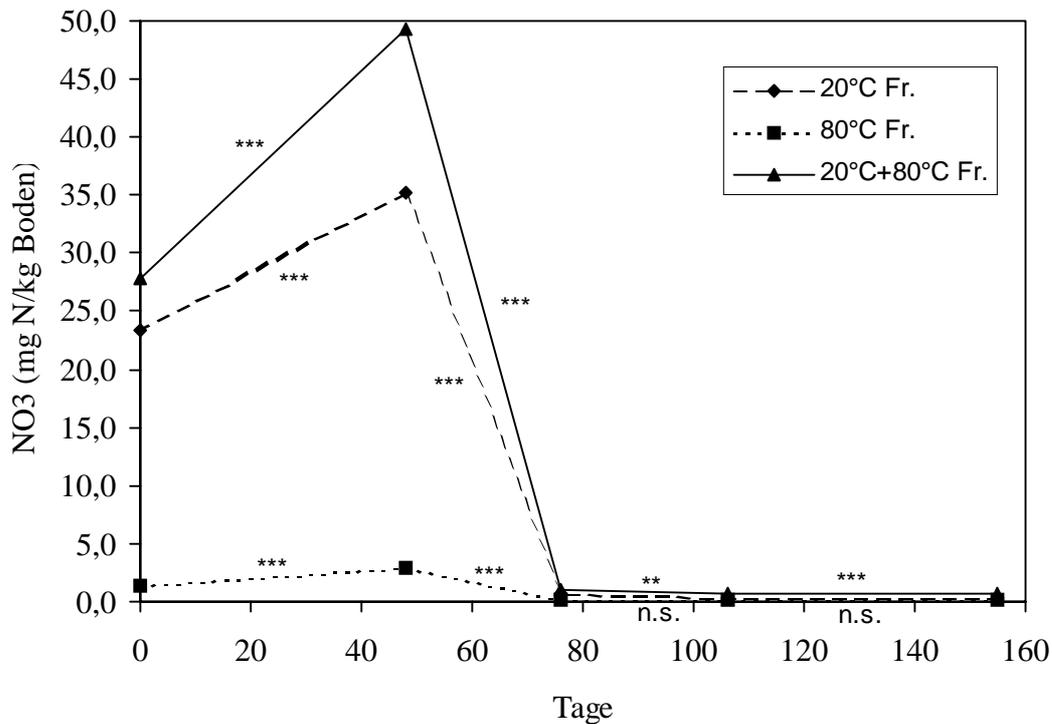


Abb. 4 Verlauf der durchschnittlichen NO_3^- -Gehalte der EUF-Fraktionen der 20 Böden

während der Versuchsdauer (mg N kg^{-1} Boden). Die Signifikanzzeichen beziehen sich auf die Unterschiede zwischen benachbarten Probenahmeterminen.

Extrakte auf. Dagegen konnten zu den beiden letzten Probenahmeterminen in den EUF-Extrakten der 80°C Fraktion keine signifikanten Veränderungen der NO_3^- -Konzentrationen gefunden werden.

Die EUF-Norg-Konzentrationen der Versuchsböden zu den 5 Probenahmeterminen sind in Tabelle 26 dargelegt. Die EUF-Extrakte der $20^\circ\text{C}+80^\circ\text{C}$ Fraktion der Ausgangsböden enthielten durchschnittlich $18,0 \text{ mg N kg}^{-1}$ Boden an Norg. Auch bei den Norg-Gehalten zeigte zu Versuchsbeginn Boden 9 mit $24,4 \text{ mg N kg}^{-1}$ Boden den höchsten und Boden 19 mit

12,4 mg N kg⁻¹ Boden den niedrigsten Wert auf. Die Norg-Menge des Bodens 9 zur Aussaat blieb nahezu unverändert im Vergleich zum Versuchsbeginn. Dagegen zeigte Boden 19 mit 9,5 mg N kg⁻¹ Boden eine Norg-Abnahme zur Aussaat. Die anderen Böden wiesen zu diesem Zeitpunkt geringfügige Unterschiede auf. Diese Unterschiede waren jedoch statistisch nicht gesichert. Bei allen 20 Böden war zu den Probenahmeterminen der ersten zwei Schnitte (T₇₆ bzw. T₁₀₆) ein deutlicher Abfall an Norg zu erkennen. Die Norg-Konzentrationen zum 1.Schnitt lagen mit durchschnittlich 14,5 mg N kg⁻¹ Boden um etwa 3 mg N kg⁻¹ Boden niedriger als die zur Aussaat Norg-Mengen. Eine weitere Abnahme an Norg zeigten die Böden mit durchschnittlich 4,2 mg N kg⁻¹ Boden zum Zeitpunkt T₁₀₆ (2.Schnitt).

Tab. 26: EUF-Norg-Konzentrationen der bewachsenen Böden während der Versuchsdauer (mg N kg⁻¹ Boden)

Boden Nr.	20°C+80°C EUF-Fraktion				
	Norg-Konzentrationen (mg N kg ⁻¹ Boden)				
	Anfang 05. Mai T ₀	Aussaat 22. Jun T ₄₈	1.Schnitt 20. Jul T ₇₆	2.Schnitt 19. Aug T ₁₀₆	3.Schnitt 07. Okt T ₁₅₅
1	18,8	19,6	15,2	4,6	12,3
2	17,4	18,6	15,7	4,4	13,7
3	20,0	22,1	17,7	7,0	16,2
4	17,2	17,5	13,6	2,1	12,0
5	22,6	23,2	18,6	8,1	15,8
6	21,6	19,2	16,7	7,5	15,0
7	15,3	15,1	13,1	3,2	11,3
8	14,2	13,8	13,4	1,2	10,0
9	24,4	24,3	18,0	9,7	16,1
10	14,8	14,5	13,3	2,6	11,8
11	16,5	15,2	12,7	2,9	12,0
12	18,6	17,2	14,1	4,2	12,6
13	14,4	13,5	11,0	1,1	10,3
14	20,2	18,0	15,8	6,4	13,7
15	21,4	17,7	16,5	6,6	13,0
16	16,3	15,6	13,0	1,6	10,4
17	18,1	18,0	14,5	4,7	12,3
18	18,3	16,2	13,6	2,9	11,1
19	12,4	9,5	8,1	0,0 ¹⁾	7,5
20	16,9	18,2	14,3	3,6	11,6
∅	18,0	17,4	14,5	4,2	12,4
t-Test (PVT)	---	n.s.	***	***	***

Mittelwerte aus je 4 Parallelen. Die Termine entsprechen der jeweiligen Anzahl an Tagen nach Ansetzen des Gefäßversuches; PVT = Parvergleichtest von abhängigen Stichproben;

signifikante Veränderungen von einem Beprobungstermin zum nächsten; (***) entspricht $p < 0,1\%$); n.s. = nicht signifikant. 1) $0,02 \text{ mg N kg}^{-1}$ Boden

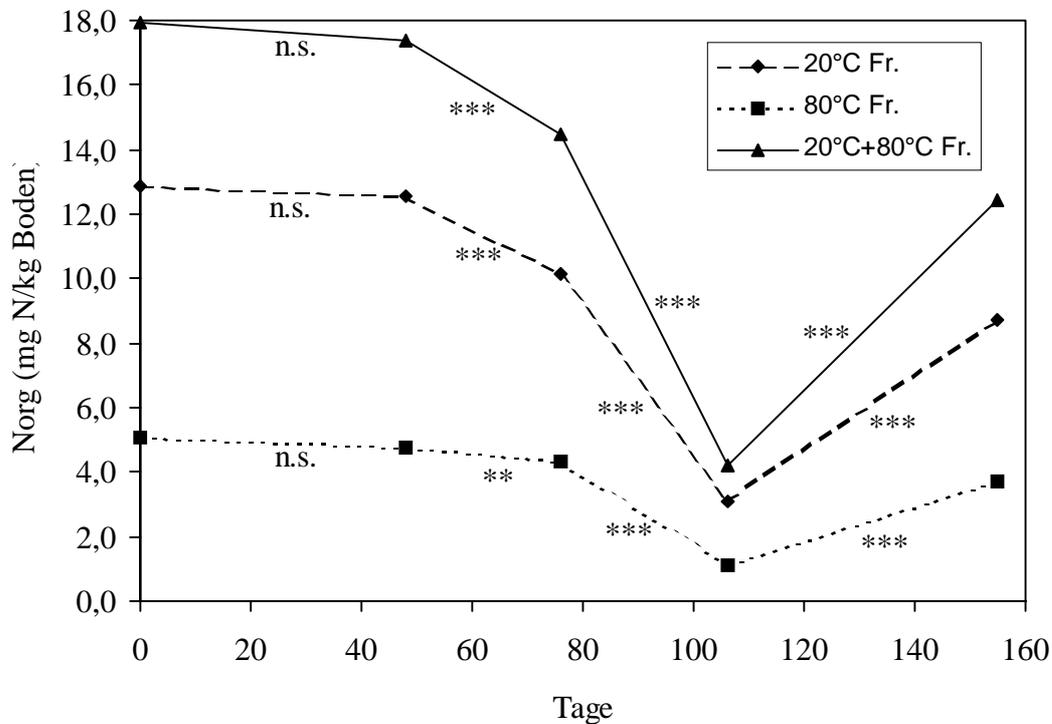


Abb. 5 Verlauf der durchschnittlichen Norg-Gehalte der EUF-Fractionen der 20 Böden während der Versuchsdauer (mg N kg^{-1} Boden). Die Signifikanzzeichen beziehen sich auf die Unterschiede zwischen benachbarten Probenahmeterminen.

Hier waren Norg-Konzentrationen im Durchschnitt von 20 Böden um ca. 10 mg N kg^{-1} Boden niedriger als die zum 1.Schnitt extrahierten Norg-Mengen. Zu diesem Zeitpunkt wies Boden 19 mit $0,02 \text{ mg N kg}^{-1}$ Boden die niedrigsten Norg-Konzentration auf. Die Einzelwerte der 20°C - und 80°C Fraktion lagen bei diesem Boden jeweils mit $0,01 \text{ mg N kg}^{-1}$ Boden im niedrigsten Niveau des Meßbereiches. Bei allen 20 Böden war zum letzten Probenahmetermin (3.Schnitt) eine deutliche Zunahme an Norg zu verzeichnen. Die $20^\circ\text{C}+80^\circ\text{C}$ EUF-Extrakte der Böden enthielten zu Versuchsende (T_{155}) durchschnittlich $12,4 \text{ mg N kg}^{-1}$ Boden an Norg. Einen Überblick über den Verlauf der EUF-Norg-Fractionen während der gesamten Versuchsperiode zeigt die Abbildung 5.

Vom Versuchsbeginn bis zur Aussaat blieben die Norg-Konzentrationen in den Böden nahezu unverändert. Bezüglich der Werte an Norg der beiden Terminen konnten keine signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden. Von T_{48} (Aussaat) bis zu T_{155} (Versuchsende) wiesen alle drei EUF-Norg-Fractionen der 20 Böden signifikante Veränderungen auf. Zunächst zeigten sie bis zu T_{106} (2.Schnitt) einen steilen Abfall und dann stiegen sie vom 2.Schnitt bis zum 3.Schnitt (Versuchsende) wieder an (T_{155}). Die Feststellung, daß der EUF-Norg-Gehalt nicht sofort, sondern erst nach 48 Tagen abnimmt, bestätigt die Ergebnisse des Inkubationsversuches, wobei der organische Stickstoff nach etwa 40 Tagen mineralisiert wurde. Man sollte noch berücksichtigen, daß es sich beim Gefäßversuch um bewachsene Böden handelt. Die beiden Versuche zeigen, daß EUF-Norg eine dynamische N-Fraktion ist, die Bedeutung für die Umsetzungsprozesse des organischen Stickstoffs im Boden hat.

4.2 Verlauf von EUF-Corg während der Versuchsdauer

Die Corg-Konzentrationen in den EUF-Extrakten der $20^{\circ}\text{C}+80^{\circ}\text{C}$ Fraktion betragen zu Versuchsbeginn von 168 bis 545 mg C kg^{-1} Boden (Tabelle 27). Die Einzelwerte in den EUF-Extrakten der 20°C - und 80°C Fraktion sind Tabelle A15 und A16 im Anhang zu entnehmen. Die EUF-Extrakte der Ausgangsböden enthielten durchschnittlich 304 mg C kg^{-1} Boden an Corg. Im Gegensatz zu EUF-N-Fractionen zeigten Böden 9 und 19 nicht die höchsten bzw. die niedrigsten Werte an Corg zu Versuchsbeginn. EUF-Corg war mit 168 mg C kg^{-1} Boden bei Boden 8 am geringsten. Die höchsten Werte an Corg waren bei den Böden 16 und 17 zu verzeichnen (527 mg C kg^{-1} Boden bzw. 545 mg C kg^{-1} Boden). Die beiden Böden wiesen mit 258 und 251 mg C kg^{-1} Boden einen steilen Abfall zur Aussaat (T_{48}) auf. Die Corg-Abnahme der 20 Böden zwischen T_0 und T_{48} konnte jedoch nur schwach statistisch abgesichert werden, weil sie nicht bei allen Böden zu erkennen war. Die Corg-Konzentrationen der Böden 1, 2, 3, 5, 8, und 9 wiesen zur Aussaat im Vergleich zu Versuchsbeginn eine Steigerung ihrer Werte auf. Zwischen T_{48} (Aussaat) und T_{76} (1.Schnitt) konnten keine signifikante Unterschiede der Corg-Gehalte identifiziert werden. Zum Zeitpunkt T_{106} (2.Schnitt) zeigten alle 20 Böden eine hoch signifikante Zunahme ihrer Gehalte an EUF-Corg und zu Versuchsende (T_{155}) trat in den EUF-Extrakten der Böden ein signifikanter Rückgang der Gehalte an Corg ein (Abbildung 6).

Tab. 27: EUF-Corg-Konzentrationen der bewachsenen Böden während der Versuchsdauer (mg C kg⁻¹ Boden)

Boden Nr.	20°C+80°C EUF-Fraktion				
	Corg-Konzentrationen (mg C kg ⁻¹ Boden)				
	Anfang	Aussaat	1.Schnitt	2.Schnitt	3.Schnitt
	05. Mai	22. Jun	20. Jul	19. Aug	07. Okt
	T ₀	T ₄₈	T ₇₆	T ₁₀₆	T ₁₅₅
1	246,2	270,5	230,6	352,0	248,5
2	292,0	320,4	252,6	378,1	260,4
3	346,7	356,9	289,1	311,5	293,0
4	396,4	330,8	237,8	262,5	246,3
5	311,4	399,8	358,9	364,0	341,7
6	396,7	257,0	343,2	394,7	346,8
7	257,9	213,5	269,9	365,1	300,9
8	167,6	205,8	227,4	295,7	275,5
9	206,9	335,9	321,6	392,8	386,1
10	216,6	212,0	221,7	238,3	222,4
11	256,6	236,0	237,3	340,2	292,5
12	323,5	226,9	275,1	406,9	342,9
13	210,2	162,6	199,8	291,5	198,6
14	200,6	199,9	239,7	331,7	273,5
15	317,9	221,0	282,0	366,1	296,5
16	526,9	257,5	265,9	295,4	307,3
17	544,7	251,4	296,6	323,0	320,1
18	361,8	188,3	240,6	284,7	265,5
19	247,9	127,1	140,8	155,6	158,0
20	256,4	202,3	250,5	281,1	266,3
Ø	304,3	248,8	259,0	321,6	282,1
t-Test(PVT)	---	*	n.s.	***	***

Mittelwerte aus je 4 Parallelen. Die Termine entsprechen der jeweiligen Anzahl an Tagen nach Ansetzen des Gefäßversuches; PVT = Parvergleichtest von abhängigen Stichproben; signifikante Veränderungen von einem Beprobungstermin zum nächsten; (*, *** entsprechen p < 5 %; 0,1 %); n.s. = nicht signifikant.

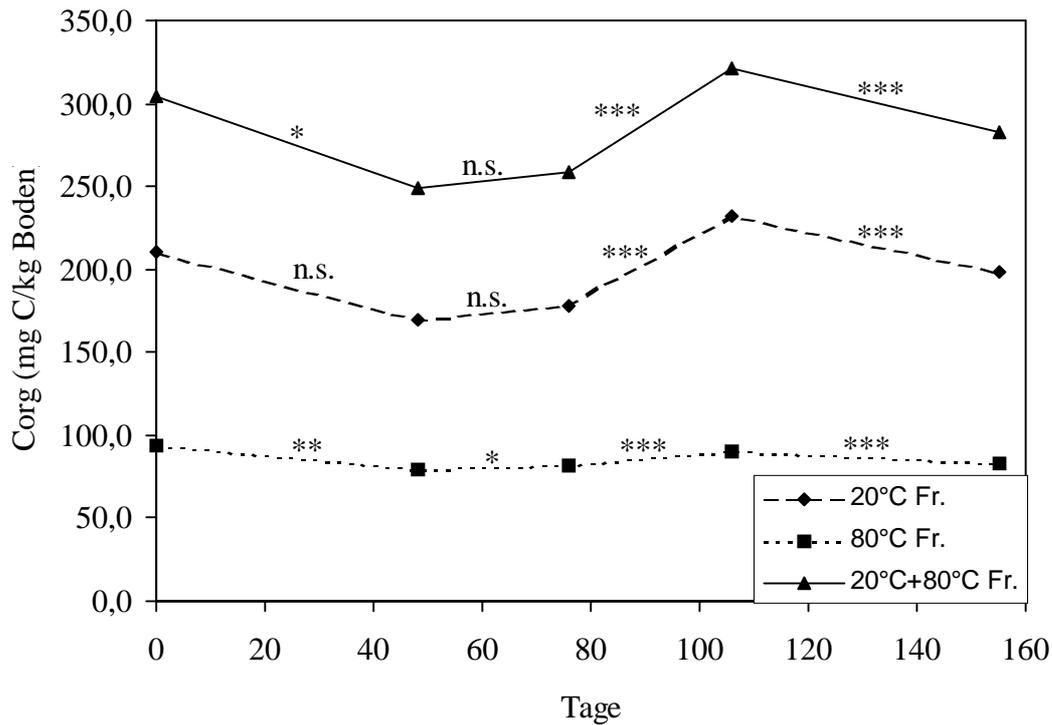


Abb. 6 Verlauf der durchschnittlichen Corg-Gehalte der EUF-Fractionen der 20 Böden während der Versuchsdauer (mg C kg⁻¹ Boden) . Die Signifikanzzeichen beziehen sich auf die Unterschiede zwischen benachbarten Probenahmeterminen.

4.3 Verlauf des nicht austauschbaren NH₄⁺ in den Böden während der Versuchsdauer

Da die Bodentypen der Versuchsböden größtenteils Löß-Parabraunerden waren und das nicht austauschbare Ammonium für den Stickstoffhaushalt solcher Böden von Bedeutung ist, wurden die ausgewählten Böden auch auf ihre Gehalte an fixiertem NH₄⁺ analysiert. In Tabelle 28 sind die von 20 Böden fixierten Mengen an NH₄⁺ während der Versuchsdauer sowie die Nettofreisetzung des fix.-NH₄⁺ zu Versuchsende dargestellt.

Die ausgewählten Versuchsböden unterschieden sich hinsichtlich ihrer Gehalte an fix.-NH₄⁺. Die fixierten NH₄⁺-Konzentrationen betragen in den Böden zu Versuchsbeginn durchschnittlich 116,9 mg N kg⁻¹ Boden. Boden 20 zeigte mit 172,1 mg N kg⁻¹ Boden den höchsten Wert an fix.-NH₄⁺. Boden 19, der ein Sandboden war, wies dagegen mit 27,4 mg N

kg⁻¹ Boden die niedrigste Konzentration an fix.-NH₄⁺ auf. Von T₀ (Versuchsbeginn) bis zu T₄₈ (Aussaat) blieben die Gehalte an fix.-NH₄⁺ in Böden nahezu unverändert.

Tab. 28: Die fixierten NH₄⁺-Konzentrationen in den Böden während der Versuchsdauer und die Netto-Freisetzung des fixierten NH₄⁺ zu Versuchsende (mg N kg⁻¹ Boden)

Boden Nr.	Fix.-NH ₄ (mg N kg ⁻¹ Boden)			
	Anfang 05. Mai T ₀	Aussaat 22. Jun T ₄₈	3.Schnitt 07. Okt T ₁₅₅	Netto- Freisetzung (T ₀ -T ₁₅₅)
1	106,6	106,2	103,6	3,0
2	76,0	73,0	66,7	9,3
3	77,7	68,8	70,8	6,9
4	103,0	97,0	97,3	5,7
5	136,9	132,0	131,4	5,6
6	107,4	105,0	105,9	1,5
7	132,6	133,2	132,7	-0,1
8	151,1	150,4	145,5	5,6
9	135,5	135,5	127,5	8,0
10	79,5	81,9	73,8	5,7
11	122,1	127,4	114,0	8,1
12	100,6	103,0	94,1	6,5
13	130,5	133,8	128,6	1,9
14	126,5	132,2	127,3	-0,8
15	80,8	93,4	86,8	-6,1
16	166,2	173,2	166,8	-0,6
17	162,5	168,5	158,0	4,5
18	142,9	150,9	136,9	6,0
19	27,4	31,5	25,1	2,3
20	172,1	171,1	171,1	1,0
∅	116,9	118,4	113,2	3,7
t-Test (PVT)	---	n.s.	***	---

Mittelwerte aus je 4 Parallelen. Die Termine entsprechen der jeweiligen Anzahl an Tagen nach Ansetzen des Gefäßversuches; PVT = Parvergleichtest von abhängigen Stichproben; signifikante Veränderungen von einem Beprobungstermin zum nächsten; (***) entspricht p < 0,1%; n.s. = nicht signifikant.

Zwischen beiden ersten Probenahmeterminen konnten keine wesentlichen Unterschiede der Gehalte an fix.-NH₄⁺ nachgewiesen werden. Auch bei EUF-NH₄⁺ der 20°C+80°C Fraktion wurden vom Versuchsbeginn bis zur Aussaat keine signifikante Veränderungen der Konzentrationen gefunden. Das bedeutet, daß die NH₄⁺-Konzentration der Bodenlösung

nahezu unverändert blieb. Hier sollte man auch berücksichtigen, daß in diesem Versuchszeitraum die Böden unbepflanzt waren. Deshalb konnte in den Böden keine Freisetzung des fix.-NH₄⁺ erwartet werden. Mit einer Nettofreisetzung an nicht austauschbarem NH₄⁺ ist nur dann zu rechnen, wenn die NH₄⁺-Konzentration der Bodenlösung niedrig ist, d. h. wenn ein Konzentrationsgradient zwischen dem NH₄⁺ der Bodenlösung und dem fix.-NH₄⁺ besteht.

Während der Vegetationsperiode, zwischen T₄₈ und T₁₅₅ zeigte das fix.-NH₄⁺, wie EUF-NH₄⁺, eine hoch signifikante Abnahme. Die Gehalte an fix.-NH₄⁺ in den Böden zu Versuchsende waren mit durchschnittlich 113,2 mg N kg⁻¹ Boden geringer als zur Aussaat (118,4 mg N kg⁻¹ Boden). Der Rückgang betrug damit durchschnittlich etwa 5,2 mg N kg⁻¹ Boden und zeigte somit eine deutliche Nettofreisetzung des fix.-NH₄⁺ der bewachsenen Böden am Ende der Vegetationsperiode. Allerdings war die Nettofreisetzung des fix.-NH₄⁺ zwischen T₀ und T₁₅₅ mit durchschnittlich 3,7 mg N kg⁻¹ Boden etwas niedriger als die Abnahme zwischen T₄₈ und T₁₅₅, weil auch die Gehalte an fix.-NH₄⁺ zur Aussaat (T₄₈) im Durchschnitt der 20 Böden etwas höher als zu Versuchsbeginn (T₀) lagen. Es wurde festgestellt, daß die Nettofreisetzung an fix.-NH₄⁺ in den Böden, die zu Versuchsbeginn hohe Konzentrationen an fixiertem NH₄⁺ aufwiesen, nicht am höchsten war. Die höchste Nettofreisetzung des fix.-NH₄⁺ war in Boden 2 mit 9,3 mg N kg⁻¹ Boden und in Boden 9 mit 8,0 mg N kg⁻¹ Boden zu erkennen. Zu Versuchsende war nicht in allen Böden eine Freisetzung des fix.-NH₄⁺ zu verzeichnen, sondern auch eine Fixierung. Boden 15 zeigte bereits mit -6,1 mg N kg⁻¹ Boden eine Nettofixierung des NH₄⁺ zu Versuchsende. Eine geringfügige Nettofixierung des NH₄⁺ war auch in den Böden 7, 14 und 16 zu beobachten. Obwohl diese Böden eine gewisse NH₄⁺-Fixierung aufwiesen, war die NH₄⁺-Nettofreisetzung aller 20 Böden hoch signifikant statistisch gesichert. Es bleibt statistisch noch zu überprüfen, ob ein positiver Zusammenhang zwischen fix.-NH₄⁺ und dem EUF-NH₄⁺ zu Versuchsende besteht.

4.4 N-Aufnahme der Pflanzen

Die N-Aufnahme des Weidelgrases zu drei Schnitten und der von den Wurzeln aufgenommene Stickstoff zu Versuchsende sowie sein prozentualer Anteil an dem gesamten N-Entzug der Pflanzen sind in Tabelle 29 aufgeführt.

Tab. 29: N-Aufnahme des Weidelgrases (mg N kg⁻¹ Boden)

Boden Nr.	N-Aufnahme der Pflanzen (mg N kg ⁻¹ Boden)				Gesamtentzug	% Wurzel-N von Gesamtentzug
	20. Jul	19. Aug	07. Okt			
	T ₇₆ 1.Schnitt ¹⁾	T ₁₀₆ 2.Schnitt	T ₁₅₅ 3.Schnitt	Wurzeln		
1	30,8	7,7	4,7	15,0	58,3	25,7
2	23,9	5,9	4,5	13,5	47,8	28,3
3	24,6	6,5	4,1	13,2	48,5	27,2
4	19,8	5,4	4,9	15,5	45,5	33,9
5	29,4	8,0	4,8	13,5	55,7	24,2
6	28,3	6,2	5,0	15,3	54,8	28,0
7	26,2	6,5	5,6	13,6	51,9	26,3
8	19,0	5,3	4,1	9,5	38,0	25,0
9	53,8	12,4	7,1	16,4	89,7	18,3
10	25,8	5,5	4,8	13,9	50,1	27,8
11	26,9	6,1	5,2	12,0	50,1	23,9
12	25,0	8,0	6,2	14,1	53,3	26,5
13	18,1	3,3	4,0	9,0	34,5	26,1
14	24,2	5,3	5,0	12,0	46,4	25,9
15	29,5	6,5	4,4	11,8	52,3	22,7
16	17,6	4,2	4,4	9,4	35,6	26,4
17	31,9	7,7	6,6	14,5	60,7	23,9
18	30,7	5,8	4,4	11,2	52,0	21,4
19	18,2	3,9	4,1	13,2	39,3	33,6
20	21,0	5,2	5,0	10,8	42,0	25,7
∅	26,2	6,3	4,9	12,9	50,3	25,6

Mittelwerte aus je 4 Parallelen. Die Termine entsprechen der jeweiligen Anzahl an Tagen nach Ansetzen des Gefäßversuches. Die Aussaat erfolgte am Tag T₄₈. 1) Saatgut-N/Gefäß ist den Werten des 1.Schnittes abgezogen worden.

Bis zum 1.Schnitt (T₇₆) des Weidelgrases, nach einer Wachstumszeit von 28 Tagen, hatten die Pflanzen im Durchschnitt von 20 Böden 26,2 mg N kg⁻¹ Boden aufgenommen. Die N-Aufnahme der Pflanzen war mit 53,8 mg N kg⁻¹ Boden bei Boden 9 am höchsten. Der niedrigste N-Entzug war mit 17,6 mg N kg⁻¹ Boden bei Boden 16 zu verzeichnen. Die Pflanzen zum 1.Schnitt zeigten im Vergleich zu den anderen Schnitten ein wesentlich kräftigeres Wachstum. Die N-Menge der oberirdischen Pflanzenmasse des 1.Schnittes war deutlich höher als die der folgenden Schnitte.

Zum 2.Schnitt (T₁₀₆) ließ sich bei allen Pflanzen ein beginnenden Stickstoffmangel aufgrund einer Hellgrünfärbung und Vergilben der älteren Blätter erkennen. Die N-Mangelsymptome verstärkten sich weiter bis zum 3. Schnitt. Die N-Aufnahme des 2. Schnittes war mit

durchschnittlich $6,3 \text{ mg N kg}^{-1}$ Boden deutlich niedriger als zum 1.Schnitt. Die Variationsbreite reichte von $3,3 \text{ mg N kg}^{-1}$ Boden (Boden 13) bis $12,4 \text{ mg N kg}^{-1}$ Boden (Boden 9). Noch niedriger waren die entzogenen N-Mengen zum 3.Schnitt (T_{155}). Der N-Entzug des 3.Schnittes betrug mit durchschnittlich $4,9 \text{ mg N kg}^{-1}$ Boden. Auch zu diesem Zeitpunkt war die höchste und die geringste N-Aufnahme der Pflanzen bei Boden 9 bzw. Boden 13 zu erkennen.

Deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Böden waren auch im Gesamt-N-Entzug, der durchschnittlich $50,3 \text{ mg N kg}^{-1}$ Boden betrug, vorhanden. Die Variationsbreite lag zwischen $34,5 \text{ mg N kg}^{-1}$ Boden (Boden 13) und $89,7 \text{ mg N kg}^{-1}$ Boden (Boden 9). Eine beträchtliche Menge des aufgenommenen Stickstoffs wurde in den Wurzeln gefunden. Der durchschnittliche N-Entzug der Wurzeln betrug $12,9 \text{ mg N kg}^{-1}$ Boden. Die Variationsbreite reichte von $9,0 \text{ mg N kg}^{-1}$ Boden (Boden 13) bis $16,4 \text{ mg N kg}^{-1}$ Boden (Boden 9). Der Wurzeln-N hatte einen beachtlichen Anteil von durchschnittlich 25,6 % an Gesamt-N-Entzug der Pflanzen.

Abbildung 7 stellt eine Zusammenfassung des zeitlichen Verlaufs der EUF-N-Fractionen im Boden bis zu Versuchsende sowie den Verlauf der N-Aufnahme des Weidelgrases zu den drei Schnitten dar. Die Veränderungen der EUF-N-Fractionen im Zeitablauf und N-Aufnahme der Pflanzen gehen als Durchschnittswerte aller Versuchsböden in die Darstellung ein. Aus der Abbildung ist zu ersehen, daß die Pflanzen zum Zeitpunkt T_{76} (1.Schnitt) viel weniger Stickstoff aufgenommen hatten als zur Aussaat (T_{48}) mineralisch in Böden vorlag. Die zur Aussaat vorliegenden anorganischen N-Konzentrationen im Boden waren im Durchschnitt der 20 Böden etwa doppelt so hoch wie die N-Aufnahme des 1.Schnittes. Diese Feststellung läßt vermuten, daß zwischen T_{48} und T_{76} auch eine Immobilisierung des mineralischen Stickstoffs, besonders von Nitrat im Boden erfolgte. Vom Zeitpunkt T_{76} bis zu T_{155} waren die Konzentrationen an anorganischem Stickstoff der Böden sehr niedrig. Darüber hinaus zeigte der EUF-Norg bis zu T_{76} in allen Böden einen signifikanten Abfall. Bereits zum Zeitpunkt des 2.- und 3.Schnittes hatte das Gras mehr Stickstoff aufgenommen als mineralisch vorhanden im Boden war. Daraus läßt sich schließen, daß das Gras des 2.- und 3.Schnittes von der mineralisierten Stickstoffmenge der Norg-Fraktion ernährt worden war. Deshalb bleibt zu überprüfen, ob die im Laufe der Vegetationsperiode EUF-N-Fractionen mit der N-Aufnahme der Pflanzen signifikant zusammenhängen.

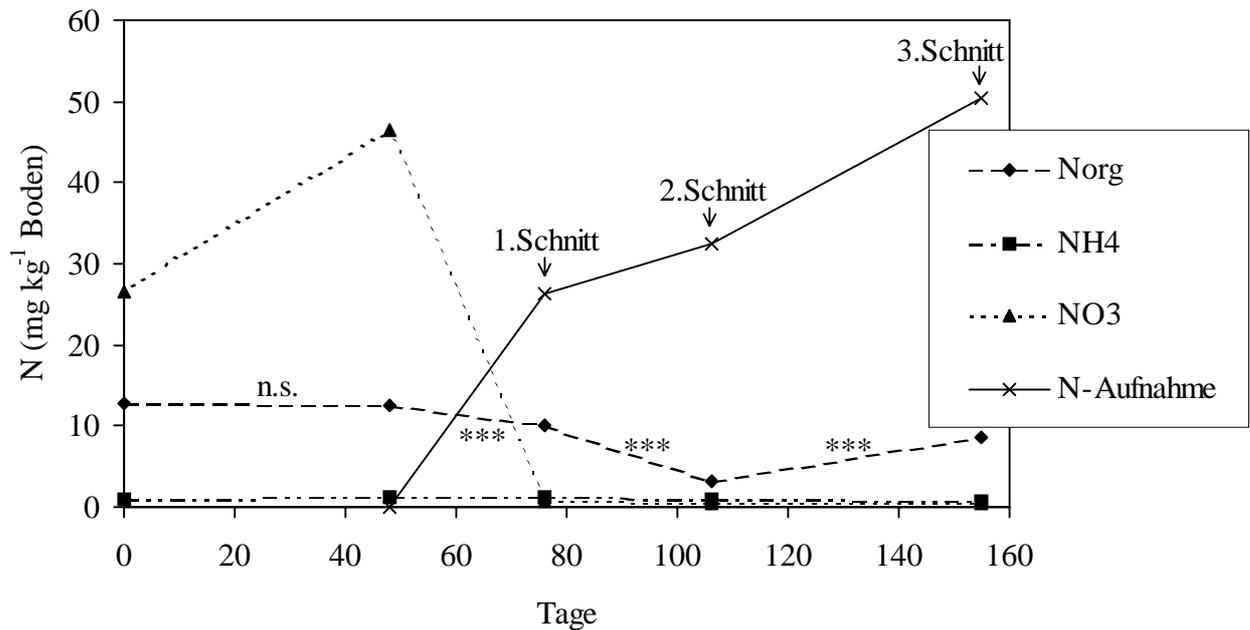


Abb. 7 Mittlere Gehalte an EUF-N der 20°C+80°C Fraktion und N-Aufnahme der Pflanzen während der Versuchsdauer (mg N kg⁻¹ Boden). Die Signifikanzzeichen beziehen sich auf die Unterschiede zwischen benachbarten Probenahmeterminen.

4.5 Netto-N-Mineralisation der bewachsenen Böden bis zu Versuchsende

In Tabelle 30 sind die EUF-Nmin-Mengen zu Versuchsbeginn und zu Versuchsende sowie die ermittelte Netto-N-Mineralisation über den gesamten Versuchszeitraum aufgeführt. Die Nmin-Werte sind hier als Summe aus NH₄⁺- und NO₃⁻-Konzentrationen der 20°C+80°C EUF-Fraktion zu den jeweiligen Terminen dargestellt. Die Berechnung der Netto-N-Mineralisation ist bereits im Abschnitt 2.2.2 beschrieben worden.

Die Nmin-Gehalte der Ausgangsböden betragen durchschnittlich 30,2 mg N kg⁻¹ Boden. In den 20 Böden lag eine Variationsbreite von 19,6 mg N kg⁻¹ Boden (Boden 16) bis 67,5 mg N kg⁻¹ Boden (Boden 9) vor. Die Nmin-Gehalte der Böden zu Versuchsende waren im Durchschnitt über alle Böden mit 1,9 mg N kg⁻¹ Boden sehr gering. In den Böden 7 und 12 fand die stärkste Netto-N-Mineralisation mit 28,4 mg N kg⁻¹ Boden bzw. 25,6 mg N kg⁻¹ Boden statt. Böden 8 und 18 wiesen dagegen mit 8,8 mg N kg⁻¹ Boden bzw. 9,1 mg N kg⁻¹

Böden die geringste Netto-N-Mineralisation auf. Die Netto-N-Mineralisation der 20 Böden betrug zu Versuchsende durchschnittlich 18,3 mg N kg⁻¹ Boden.

Tab. 30: EUF-Nmin-Konzentrationen in Böden zu Versuchsbeginn und zu Versuchsende und Netto-N-Mineralisation (mg N kg⁻¹ Boden)

Boden Nr.	mg N kg ⁻¹ Boden		Netto-Nmin
	Nmin-Konzentrationen		
	Anfang	Ende	
	05. Mai	07. Okt	
	T ₀	T ₁₅₅	
1	36,7	2,0	20,6
2	26,4	1,8	13,8
3	29,2	1,9	14,3
4	21,2	1,7	20,3
5	28,5	2,2	23,8
6	31,8	1,7	23,2
7	25,4	1,9	28,4
8	25,3	1,6	8,8
9	67,5	2,0	16,1
10	28,5	1,5	17,4
11	27,9	1,9	16,0
12	23,0	1,9	25,6
13	20,2	2,1	14,5
14	28,5	1,8	20,6
15	42,2	2,1	18,2
16	19,6	2,0	18,7
17	36,2	2,2	22,3
18	38,8	1,8	9,1
19 ¹⁾	20,0	1,0	18,0
20	26,6	1,8	16,2
∅	30,2	1,9	18,3

Mittelwerte aus je 4 Parallelen. 1) mit 9,69 mg N kg⁻¹ Boden aufgedüngt. Die Termine entsprechen der jeweiligen Anzahl an Tagen nach Ansetzen des Gefäßversuches.

4.6 Beziehungen allgemeiner Bodenkenndaten zum Verlauf der EUF-N-Fraktionen über fünf Termine

Da die Stickstoffmineralisation nicht nur vom Vorhandensein organischer Stickstoffverbindungen, sondern auch von anderen Bodenfaktoren beeinflusst wird, wurden

zunächst durch einfach lineare Regressionen die Beziehungen zwischen allgemeinen Bodenkenndaten und den zu fünf Terminen extrahierten EUF-N-Fractionen ermittelt. Tabelle 31 zeigt die Korrelationskoeffizienten verschiedener Bodenkenndaten zum Verlauf des EUF-NH₄⁺ über den gesamten Versuchszeitraum.

Zwischen dem Kohlenstoffgehalt (C_t) bzw. dem Stickstoffgehalt (N_t) und dem EUF-NH₄⁺ der 20°C Fraktion bestanden keine signifikante Beziehungen. Der Gesamt-N der Böden war aber vom Zeitpunkt T₇₆ an mit dem EUF-NH₄⁺ der 80°C Fraktion signifikant korreliert (T₇₆ r = 0,55*; T₁₀₆ r = 0,55*; T₁₅₅ r = 0,63**). Bei der 20°C+80°C Fraktion war diese Korrelation nur zu Versuchsende (T₁₅₅) zu erkennen (r = 0,44*). Eine signifikant negative Beziehung wurde zwischen dem C:N-Verhältnis und dem EUF-NH₄⁺ der 20°C Fraktion zu T₇₆ (r = -0,51*) und T₁₀₆ (r = -0,56**) gefunden. Diese Beziehung war deutlich enger bei der 80°C Fraktion (T₇₆ r = -0,69***; T₁₀₆ r = -0,69***; T₁₅₅ r = -0,55*). Auch bei der 20°C+80°C Fraktion war das C:N-Verhältnis von T₇₆ an signifikant mit dem EUF-NH₄⁺ korreliert (T₇₆ r = -0,65**; T₁₀₆ r = -0,64**; T₁₅₅ r = -0,51*).

Die Texturdaten (Sand- und Schluffgehalt) zeigten keinen signifikanten Zusammenhang zum EUF-NH₄⁺ der 20°C Fraktion. Nur zum Zeitpunkt T₇₆ korrelierte das EUF-NH₄⁺ schwach signifikant mit dem Tongehalt der Böden (r = 0,50*). Dagegen wies das EUF-NH₄⁺ der 80°C Fraktion zu T₇₆ und T₁₅₅ signifikant negative Beziehungen zur Sandfraktion auf (r = -0,45* bzw. r = -0,62**). Auch die Tonfraktion zeigte zu diesen beiden Terminen positive Zusammenhänge zum EUF-NH₄⁺ der 80°C Fraktion (T₇₆ r = 0,53*; T₁₅₅ r = 0,52*).

Zu Versuchsende (T₁₅₅) konnte auch ein positiv signifikanter Zusammenhang zwischen Schluffgehalt und EUF-NH₄⁺ der 80°C Fraktion gefunden werden (r = 0,56**). Bei der 20°C+80°C Fraktion war das EUF-NH₄⁺ nur zu Versuchsende mit den Texturdaten signifikant korreliert (Sand r = -0,56**; Schluff r = 0,49*; Ton r = 0,50*). Der Tongehalt zeigte zum Zeitpunkt T₇₆ noch eine positive Beziehung zum EUF-NH₄⁺ der 20°C+80°C Fraktion (r = 0,57**).

Zwischen dem pH-Wert der Böden und dem EUF-NH₄⁺ der 20°C Fraktion konnten keine signifikante Beziehungen nachgewiesen werden. Außer bei Versuchsbeginn korrelierte der pH-Wert positiv mit den zu allen anderen Probenahmeterminen vorliegenden EUF-NH₄⁺-Gehalten der 80°C Fraktion (T₄₈ r = 0,45*; T₇₆ r = 0,60**; T₁₀₆ r = 0,54*; T₁₅₅ r = 0,65**). Bei der 20°C+80°C Fraktion waren solche Beziehungen nur zu T₇₆ (r = 0,49*) und T₁₅₅ (r = 0,55*) zu finden.

Tab. 31: Korrelationskoeffizienten (r) verschiedener Bodenkennwerte zum Verlauf von EUF-NH₄⁺ über fünf Termine

Boden- kenndaten	Verlauf von EUF-NH ₄ ⁺				
	Anfang 05. Mai T ₀	Aussaat 22. Jun T ₄₈	1.Schnitt 20. Jul T ₇₆	2.Schnitt 19. Aug T ₁₀₆	3.Schnitt 07. Okt T ₁₅₅
20°C Fraktion					
C _t	0,16	0,06	-0,09	-0,06	0,02
N _t	0,31	0,06	0,16	0,26	0,19
C/N	-0,25	0,00	-0,51*	-0,56**	-0,36
Sand	-0,26	-0,19	-0,22	0,04	-0,38
Schluff	0,25	0,13	0,10	-0,14	0,33
Ton	0,14	0,28	0,50*	0,30	0,37
pH-Wert	0,23	-0,05	0,31	0,28	0,33
80°C Fraktion					
C _t	0,10	0,05	0,19	0,18	0,40
N _t	0,37	0,19	0,55*	0,55*	0,63**
C/N	-0,40	-0,32	-0,69***	-0,69***	-0,55*
Sand	0,01	-0,02	-0,45*	-0,24	-0,62**
Schluff	-0,01	-0,01	0,36	0,16	0,56**
Ton	0,01	0,10	0,53*	0,38	0,52*
pH-Wert	0,31	0,45*	0,60**	0,54*	0,65**
20°C + 80°C Fraktion					
C _t	0,15	0,07	0,04	0,03	0,22
N _t	0,36	0,18	0,37	0,39	0,44*
C/N	-0,33	-0,25	-0,65**	-0,64**	-0,51*
Sand	-0,19	-0,11	-0,36	-0,07	-0,56**
Schluff	0,18	0,06	0,24	-0,03	0,49*
Ton	0,11	0,22	0,57**	0,34	0,50*
pH-Wert	0,28	0,33	0,49*	0,40	0,55*

n = 20 Versuchsböden; Signifikanz: *, **, *** entsprechen p < 5%, 1 %, 0,1 %

Die Termine entsprechen der jeweiligen Anzahl an Tagen nach Ansetzen des Gefäßversuches.

Ähnliche Beziehungen, wie beim EUF-NH₄⁺, zeigten die Bodenkenndaten auch zum Verlauf der EUF-NO₃⁻-Gehalte (Tabelle 32). Sowohl bei der 20°C Fraktion als auch bei der 80°C Fraktion bestanden signifikante Beziehungen zwischen den EUF-NO₃⁻-Gehalten zu Versuchsende und Gesamt-C der Böden (r = 0,57** bzw. r = 0,47*). Der Koeffizient dieser Beziehung war etwas höher bei der 20°C+80°C Fraktion (r = 0,60**). Auch der Stickstoffgehalt (N_t) der Böden korrelierte positiv mit den EUF-NO₃⁻-Gehalten der EUF-Fractionen. Bei der 20°C Fraktion waren diese signifikante Beziehungen zu T₀ (r = 0,58**),

T_{48} ($r = 0,57^{**}$) und T_{155} ($r = 0,59^{**}$) zu erkennen. Bei der 80°C Fraktion ergaben sich nur zum Versuchsbeginn und -ende schwach signifikant positive Koeffizienten des Gesamt-N zur EUF-NO₃⁻-Menge ($r = 0,48^*$ bzw. $r = 0,46^*$). Die EUF-NO₃⁻-Gehalte der 20°C+80°C Fraktion waren zu den selben Probenahmeterminen, wie bei der 20°C Fraktion, signifikant mit dem Stickstoffgehalt (N_t) der Böden korreliert (T_0 $r = 0,58^{**}$; T_{48} $r = 0,57^{**}$; T_{155} $r = 0,60^{**}$). Für das C:N-Verhältnis der Versuchsböden errechneten sich negative Korrelationen zum EUF-NO₃⁻, die jedoch nur bei der 20°C- und 20°C+80°C Fraktion zum Zeitpunkt T_{106} signifikant waren ($r = -0,60^{**}$ bzw. $r = -0,51^*$).

Tab. 32: Korrelationskoeffizienten (r) verschiedener Bodenkennwerte zum Verlauf von EUF-NO₃⁻ über fünf Termine

Boden- kenndaten	EUF-NO ₃ ⁻ -Verlauf				
	Anfang	Aussaat	1.Schnitt	2.Schnitt	3.Schnitt
	05. Mai T_0	22. Jun T_{48}	20. Jul T_{76}	19. Aug T_{106}	07. Okt T_{155}
20°C Fraktion					
C_t	0,42	0,41	0,09	0,03	0,57**
N_t	0,58**	0,57**	0,14	0,31	0,59**
C/N	-0,32	-0,35	-0,19	-0,60**	-0,21
Sand	-0,38	-0,42	-0,53*	-0,31	-0,69***
Schluff	0,39	0,43	0,62**	0,29	0,71***
Ton	0,17	0,19	0,00	0,22	0,31
pH-Wert	0,24	0,32	0,40	0,53*	0,37
80°C Fraktion					
C_t	0,28	0,18	-0,01	0,34	0,47*
N_t	0,48*	0,33	-0,01	0,34	0,46*
C/N	-0,38	-0,33	-0,07	-0,01	-0,09
Sand	-0,35	-0,06	-0,24	-0,12	-0,42
Schluff	0,33	0,02	0,19	0,16	0,45*
Ton	0,26	0,15	0,27	-0,08	0,11
pH-Wert	0,26	0,43	0,21	0,30	0,50*
20°C + 80°C Fraktion					
C_t	0,42	0,40	0,04	0,19	0,60**
N_t	0,58**	0,57**	0,07	0,43	0,60**
C/N	-0,33	-0,36	-0,14	-0,51*	-0,18
Sand	-0,38	-0,40	-0,43	-0,32	-0,65**
Schluff	0,38	0,41	0,44*	0,32	0,67**
Ton	0,17	0,19	0,20	0,15	0,25
pH-Wert	0,25	0,35	0,34	0,59**	0,49*

n = 20 Versuchsböden; Signifikanz: *, **, *** entsprechen $p < 5\%$, 1% , $0,1\%$

Die Termine entsprechen der jeweiligen Anzahl an Tagen nach Ansetzen des Gefäßversuches.

Auch die Sandfraktion zeigte eine schwach signifikant negative Beziehung zur EUF-NO₃⁻ -Menge der 20°C Fraktion zum Zeitpunkt T₇₆ (r = -0,53*). Diese Beziehung war deutlich enger zu Versuchsende (r = -0,69***). Zwischen dem Schluffgehalt der Böden und dem EUF-NO₃⁻ der 20°C Fraktion bestanden zu T₇₆ (r = 0,62**) und T₁₅₅ (r = 0,71***) signifikant positive Zusammenhänge. Beziehungen des Tongehaltes zur EUF-NO₃⁻ -Menge der 20°C Fraktion waren nicht statistisch nachweisbar. Bei der 80°C Fraktion konnte nur ein schwach signifikant positiver Zusammenhang zwischen den EUF-NO₃⁻ -Gehalten zu Versuchsende und der Schlufffraktion identifiziert werden (r = 0,45*). Die Texturdaten (Sand- und Schluffgehalt) wiesen zu den EUF-NO₃⁻ -Gehalten der 20°C+80°C Fraktion zu Versuchsende signifikante Korrelationskoeffizienten auf (Sand r = -0,65**; Schluff r = 0,67**).

Sowohl bei der 20°C Fraktion als auch bei der 80°C Fraktion konnten zwischen den EUF-NO₃⁻ -Gehalten am Ende der Vegetationsperiode und dem pH-Wert der Böden schwach signifikant positive Korrelationen nachgewiesen werden (T₁₀₆ r = 0,53* bzw. T₁₅₅ r = 0,50*). Zu den letzten beiden Probenahmeterminen zeigten auch die EUF-NO₃⁻ -Konzentrationen der 20°C+80°C Fraktion signifikante Korrelationskoeffizienten zum pH-Wert (r = 0,59**; r = 0,49*).

Während des gesamten Versuches ergaben sich enge Beziehungen zwischen den Norg-Gehalten der EUF-Fractionen zu jedem Probenahmetermin und dem Stickstoffgehalt (N_i) bzw. Kohlenstoffgehalt (C_i) der Böden (Tabelle 33). Die Koeffizienten dieser Beziehungen waren etwas höher bei der 20°C Fraktion als bei der 80°C Fraktion. Ähnliche Korrelationskoeffizienten des Gesamt-C und -N der Böden zu den EUF-Norg-Gehalten wurden auch beim Inkubationsversuch mit anderen Böden gefunden (siehe Tabelle 11).

Auch die Texturdaten (Sand- und Schluffgehalt) waren mit der EUF-Norg-Menge der 20°C Fraktion zu jedem Probenahmetermin signifikant korreliert. Allerdings handelte es sich um negative Korrelationskoeffizienten der Sandfraktion zur EUF-Norg-Menge, während zwischen dem Schluffgehalt und dem EUF-Norg-Gehalt der 20°C Fraktion positive Zusammenhänge zu finden waren. Im Gegensatz zur 20°C Fraktion zeichnete sich bei der 80°C Fraktion nicht zu allen Probenahmeterminen signifikante Koeffizienten des EUF-Norg zum Sand- bzw. Schluffgehalt der Böden ab. Sand- und Schluffgehalte waren mit dem EUF-Norg nur zum Zeitpunkt T₄₈ (r = -0,44* bzw. r = 0,47*) und T₇₆ (r = -0,44* bzw. r = 0,53*) schwach signifikant korreliert. Zu Versuchsende (T₁₅₅) konnte noch ein schwach signifikant positiver Korrelationskoeffizient (r = 0,49*) des EUF-Norg zum Schluffgehalt der Böden

identifiziert werden. Bei der 20°C+80°C Fraktion waren mit Ausnahme des Termins T₁₀₆ signifikant negative Beziehungen zwischen Sandfraktion und dem Verlauf des EUF-Norg zu verzeichnen.

Tab. 33: Korrelationskoeffizienten (r)verschiedener Bodenkennwerte zum Verlauf des EUF-Norg über fünf Termine

Boden- kenndaten	EUF-Norg-Verlauf				
	Anfang 05. Mai T ₀	Aussaat 22. Jun T ₄₈	1.Schnitt 20. Jul T ₇₆	2.Schnitt 19. Aug T ₁₀₆	3.Schnitt 07. Okt T ₁₅₅
20°C Fraktion					
C _t	0,71***	0,60**	0,76***	0,76***	0,80***
N _t	0,69***	0,55*	0,71***	0,72***	0,74***
C/N	-0,08	-0,04	-0,10	-0,04	-0,06
Sand	-0,56**	-0,62**	-0,67**	-0,49*	-0,56**
Schluff	0,59**	0,67**	0,66**	0,50*	0,59**
Ton	0,20	0,18	0,38	0,22	0,19
pH-Wert	0,22	0,25	0,30	0,13	0,23
80°C Fraktion					
C _t	0,68***	0,62**	0,58**	0,63**	0,60**
N _t	0,73***	0,59**	0,60**	0,67**	0,62**
C/N	-0,11	-0,06	-0,13	-0,09	-0,12
Sand	-0,20	-0,44*	-0,44*	-0,23	-0,40
Schluff	0,25	0,47*	0,53*	0,31	0,49*
Ton	-0,06	0,12	-0,08	-0,13	-0,10
pH-Wert	0,25	0,29	0,34	0,29	0,33
20°C + 80°C Fraktion					
C _t	0,73***	0,65**	0,73***	0,74***	0,74***
N _t	0,73***	0,60**	0,70***	0,73***	0,71***
C/N	-0,09	-0,05	-0,12	-0,06	-0,08
Sand	-0,46*	-0,61**	-0,60**	-0,41	-0,51*
Schluff	0,49*	0,65**	0,64**	0,44*	0,57**
Ton	0,12	0,17	0,20	0,09	0,08
pH-Wert	0,24	0,28	0,34	0,20	0,28

n = 20 Versuchsböden; Signifikanz: *, **, *** entsprechen p < 5%, 1 %, 0,1 %

Die Termine entsprechen der jeweiligen Anzahl an Tagen nach Ansetzen des Gefäßversuches.

Der EUF-Norg der 20°C+80°C Fraktion zeigte zu den fünf Probenahmeterminen des Versuches signifikant positive Beziehungen zum Schluffgehalt der Böden. Diese Beziehungen waren jedoch nicht so eng wie bei der 20°C Fraktion. Während der Versuchsdauer konnten keine signifikante Zusammenhänge zwischen dem Tongehalt und den Norg-Gehalten der

EUF-Fractionen nachgewiesen werden. Auch pH-Wert korrelierte nicht mit dem EUF-Norg. Das dürfte zurückzuführen sein, daß dieser Parameter nur eine geringe Variationsbreite aufwies (siehe Tabelle 4).

Es waren keinerlei signifikante Zusammenhänge zwischen den EUF-Norg-Gehalten zu den fünf Probenahmeterminen und dem C:N-Verhältnis der Böden zu erkennen.

4.7 Beziehungen allgemeiner Bodenkenndaten zum Verlauf der Corg-Gehalte der EUF-Fractionen über fünf Termine

Auch zwischen dem Kohlenstoffgehalt (C_t) bzw. dem Stickstoffgehalt (N_t) und dem Corg der EUF-Fractionen bestanden signifikante Beziehungen (Tabelle 34). Im Gegensatz zum EUF-Norg korrelierte der EUF-Corg nicht zu allen Probenahmeterminen mit dem Gesamt-C und -N der Böden und außerdem war das Signifikanzniveau der Corg-Beziehungen deutlich niedriger als bei den Beziehungen des EUF-Norg. Bei der 20°C Fraktion konnten nur vom Zeitpunkt T_{76} an signifikante Zusammenhänge zwischen EUF-Corg und dem Gesamt-C und -N der Böden nachgewiesen werden. Die Beziehungen des Gesamt-C zum EUF-Corg zu T_{76} ($r = 0,89^{***}$) und T_{155} ($r = 0,74^{***}$) waren enger als die Beziehungen des Gesamt-N zum EUF-Corg zu den selben Probenahmeterminen (T_{76} $r = 0,62^{**}$; T_{155} $r = 0,66^{**}$). Dagegen wies der Corg der 80°C Fraktion engere Beziehungen zu N_t als zu C_t der Böden auf. Darüber hinaus waren bei der 80°C Fraktion signifikante Korrelationskoeffizienten der EUF-Corg-Gehalte zum Gesamt-C und -N vom Zeitpunkt T_{48} ($r = 0,54^*$ bzw. $r = 0,65^{**}$) an zu verzeichnen.

Der EUF-Corg der 20°C+80°C Fraktion zeigte zum Zeitpunkt T_{76} und T_{155} hoch signifikant positive Beziehungen zu Gesamt C ($r = 0,84^{***}$ bzw. $r = 0,68^{***}$) und zu Gesamt-N ($r = 0,73^{***}$ bzw. $r = 0,70^{***}$). Über den gesamten Versuchszeitraum konnten keine signifikanten Zusammenhänge zwischen dem C:N-Verhältnis und den Corg-Gehalten der EUF-Fractionen identifiziert werden.

Die Beziehungen der Texturdaten zur jeweiligen Corg-Menge der EUF-Fractionen zeigten ein ähnliches Bild, wie bei EUF-Norg. Mit Ausnahme des ersten Termins ließen sich im weiteren Verlauf signifikante Beziehungen der EUF-Corg-Menge der 20°C- und 20°C+80°C Fraktion zum Sand- und Schluffgehalt der Böden aufzeigen. Es konnte auch ein schwach signifikant positiver Zusammenhang zwischen dem Tongehalt und der EUF-Corg-Menge der 20°C Fraktion zu Versuchsende (T_{155}) nachgewiesen werden ($r = 0,48^*$).

Tab. 34: Korrelationskoeffizienten (r)verschiedener Bodenkennwerte zum Verlauf des EUF-Corg über fünf Termine

Boden- kenndaten	EUF-Corg-Verlauf				
	Anfang	Aussaat	1.Schnitt	2.Schnitt	3.Schnitt
	05. Mai T ₀	22. Jun T ₄₈	20. Jul T ₇₆	19. Aug T ₁₀₆	07. Okt T ₁₅₅
20°C Fraktion					
C _t	0,12	0,34	0,89***	0,49*	0,74***
N _t	-0,01	0,15	0,62**	0,49*	0,66**
C/N	0,16	0,22	0,25	-0,19	-0,03
Sand	-0,22	-0,44*	-0,57**	-0,59**	-0,59**
Schluff	0,27	0,53*	0,56**	0,59**	0,53*
Ton	-0,06	-0,09	0,34	0,32	0,48*
pH-Wert	0,17	0,09	0,13	0,32	0,28
80°C Fraktion					
C _t	0,33	0,54*	0,51*	0,51*	0,43
N _t	0,39	0,65**	0,67**	0,68***	0,61**
C/N	-0,19	-0,30	-0,39	-0,41	-0,41
Sand	-0,19	-0,45*	-0,41	-0,43	-0,43
Schluff	0,22	0,44*	0,39	0,42	0,43
Ton	0,01	0,27	0,27	0,25	0,22
pH-Wert	0,50*	0,64**	0,68***	0,64**	0,73***
20°C + 80°C Fraktion					
C _t	0,19	0,46*	0,84***	0,55*	0,68***
N _t	0,11	0,32	0,73***	0,61**	0,70***
C/N	0,07	0,10	0,01	-0,28	-0,19
Sand	-0,22	-0,51*	-0,58**	-0,60**	-0,58**
Schluff	0,27	0,59**	0,56**	0,60**	0,54*
Ton	-0,04	0,01	0,36	0,33	0,41
pH-Wert	0,28	0,27	0,39	0,46*	0,49*

n = 20 Versuchsböden; Signifikanz: *, **, *** entsprechen p < 5%, 1 %, 0,1 %

Die Termine entsprechen der jeweiligen Anzahl an Tagen nach Ansetzen des Gefäßversuches.

Zwischen dem pH-Wert der Böden und dem EUF-Corg der 20°C Fraktion bestanden keine signifikante Beziehungen. Überraschend hoch waren die Korrelationskoeffizienten der EUF-Corg-Gehalte der 80°C Fraktion zum pH-Wert der Böden. Zu jedem Probenahmetermin korrelierte die Corg-Menge positiv mit dem pH-Wert der Versuchsböden. Besonders hoch waren die Koeffizienten zu T₇₆ (r = 0,68***) und T₁₅₅ (r = 0,73***). Vom Versuchsbeginn (T₀) bis zur Aussaat (T₄₈) sowie zwischen dem 2.- (T₁₀₆) und 3.Schnitt (T₁₅₅) wurde eine signifikanter Abfall der EUF-Corg-Gehalte der 80°C Fraktion in den Böden gefunden (siehe

Abb. 6). Dies deutet darauf hin, daß der EUF-Corg von pH-Wert beeinflußt wird. Der pH-Wert zeigte auch schwach signifikant positive Beziehungen zu den EUF-Corg-Gehalten der 20°C+80°C Fraktion zu den letzten beiden Probenahmeterminen (T_{106} $r = 0,46^*$; T_{155} $r = 0,49^*$).

4.8 Beziehungen allgemeiner Bodenkenndaten zur N-Aufnahme der Pflanzen und zur Netto-N-Mineralisation

In Tabelle 35 sind die Korrelationskoeffizienten allgemeiner Bodenkenndaten zu Versuchsbeginn *versus* N-Aufnahme der Pflanzen und *versus* Netto-N-Mineralisation zu Versuchsende aufgeführt.

Mit Ausnahme des gesamten Stickstoffs der Böden konnten zwischen anderen allgemeinen Bodenkenndaten und der N-Aufnahme von Weidelgras keine signifikanten Beziehungen nachgewiesen werden. Der Stickstoffgehalt (N_t) der Böden war schwach signifikant nur mit der N-Aufnahme des 1.Grasschnittes korreliert ($r = 0,48^*$).

Auch waren keinerlei signifikante Zusammenhänge zwischen allgemeinen Bodenkenndaten zu Versuchsbeginn und der Netto-N-Mineralisation zu Versuchsende zu erkennen.

Tab. 35: Korrelationskoeffizienten (r) verschiedener Bodenkennwerte zur N-Aufnahme von Weidelgras und zur Netto-N-Mineralisation

Boden- kenndaten	N-Aufnahme der Pflanzen und Netto-N-Mineralisation					
	1.Schnitt	2.Schnitt	3.Schnitt	Wurzeln-N	Gesamtzug	Netto-Nmin
	20. Jul T_{76}	19. Aug T_{106}	07. Okt T_{155}	07. Okt T_{155}	07. Okt T_{155}	07. Okt T_{155}
C_t	0,38	0,35	0,25	0,24	0,38	0,23
N_t	0,48*	0,41	0,37	0,07	0,43	0,10
C/N	-0,19	-0,15	-0,23	0,30	-0,12	0,20
Sand	-0,24	-0,30	-0,20	0,04	-0,22	0,05
Schluff	0,25	0,32	0,17	0,06	0,25	-0,06
Ton	0,09	0,09	0,18	-0,36	0,02	0,02
pH-Wert	0,16	0,25	0,19	-0,24	0,12	0,00

n = 20 Versuchsböden; Signifikanz: * entspricht $p < 5\%$

Die Termine entsprechen der jeweiligen Anzahl an Tagen nach Ansetzen des Gefäßversuches.

4.9 Beziehungen allgemeiner Bodenkenndaten zum Verlauf des fixiertem NH_4^+ in den Böden über den gesamten Versuchszeitraum

Während der Versuchsdauer konnten keine signifikanten Beziehungen zwischen dem nicht austauschbaren Ammonium (fix.-NH_4^+) und dem Gesamt-C bzw. Gesamt-N der Boden festgestellt werden (Tabelle 36). Auch das C:N-Verhältnis und der pH-Wert der Versuchsböden waren nicht signifikant mit den fix.-NH_4^+ -Gehalten zu Versuchsbeginn (T_0), Aussaat (T_{48}) und Versuchsende (T_{155}) korreliert.

Zwischen den Texturdaten (Sand-, Schluff-, Tongehalt) der Böden zu Versuchsbeginn und der fix.-NH_4^+ -Menge zu den drei Probenahmeterminen bestanden signifikante Zusammenhänge. Eine hoch signifikant negative Beziehung wurde zwischen der Sandfraktion und dem fixierten NH_4^+ zu Versuchsbeginn gefunden (T_0 $r = -0,70^{***}$). Im weiteren Verlauf waren die Korrelationskoeffizienten dieser Beziehung vor der Aussaat und zu Versuchsende etwas niedriger (T_{48} $r = -0,64^{**}$ bzw. T_{155} $r = -0,67^{**}$). Das NH_4^+ kann allerdings nicht von der Sandfraktion fixiert werden. Aber je höher diese Fraktion im Boden ist, um so geringer sind die anderen Korngrößenfraktionen, wodurch sich die negative Korrelation zwischen Sandgehalt und der fix.-NH_4^+ -Menge erklärt. Ein schwach signifikant positiver Zusammenhang konnte auch zwischen dem Schluffgehalt der Böden und den fix.-NH_4^+ -Gehalten zu den drei Probenahmeterminen identifiziert werden (T_0 $r = 0,54^*$, T_{48} $r = 0,48^*$; T_{155} $r = 0,51^*$). Das bedeutet, daß die Schlufffraktion der Böden eventuell ein kleinen Teil der fix.-NH_4^+ -Menge enthielt.

Es ist bereits bekannt, daß das nicht austauschbare Ammonium in den Zwischenschichten der 2:1 Tonminerale gebunden ist. Das konnte auch durch die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit bestätigt werden. Es ergaben sich hoch signifikant positive Korrelationskoeffizienten des Tongehaltes der Böden zu den fix.-NH_4^+ -Gehalten zu jedem Probenahmetermin (T_0 $r = 0,88^{***}$, T_{48} $r = 0,87^{***}$; T_{155} $r = 0,88^{***}$).

Tab. 36: Korrelationskoeffizienten (r) verschiedener Bodenkennwerte zum Verlauf der fixierten NH_4^+ -Gehalte in den Böden über drei Termine sowie zur Nettofreisetzung des fixiertem NH_4^+ zu Versuchsende

Boden- kenndaten	Fix.- NH_4^+ -Verlauf			
	Anfang 05. Mai T_0	Aussaat 22. Jun T_{48}	3.Schnitt 07. Okt T_{155}	Netto- Freisetzung (T_0-T_{155})
C_t	0,30	0,26	0,31	-0,07
N_t	0,37	0,38	0,38	-0,14
C/N	-0,29	-0,36	-0,29	0,04
Sand	-0,70***	-0,64**	-0,67**	-0,12
Schluff	0,54*	0,48*	0,51*	0,17
Ton	0,88***	0,87***	0,88***	-0,10
pH-Wert	0,34	0,36	0,34	-0,02

n = 20 Versuchsböden; Signifikanz: *, **, *** entsprechen $p < 5\%$, 1 %, 0,1 %

Die Termine entsprechen der jeweiligen Anzahl an Tagen nach Ansetzen des Gefäßversuches.

4.10 Beziehungen zwischen Corg- und Norg-Gehalte in den EUF-Extrakten während der Versuchsdauer

Über den gesamten Versuchszeitraum wurden bei allen drei EUF-Fractionen hoch signifikant positive Zusammenhänge zwischen Corg- und Norg-Gehalte festgestellt. In Tabelle 37 sind die Korrelationskoeffizienten des EUF-Corg *versus* EUF-Norg im Verlaufe des Versuches aufgelistet. Zwischen den EUF-Corg-Gehalten zu Versuchsbeginn und der EUF-Norg-Menge zu jedem Probenahmetermin bestanden keine signifikanten Beziehungen.

Nur bei der 80°C Fraktion konnte zu Versuchsbeginn (T_0) ein schwach signifikant positiver Zusammenhang zwischen EUF-Corg- und Norg-Gehalte identifiziert werden ($r = 0,46^*$). Im weiteren Verlauf bis zu Versuchsende ließen sich kontinuierlich in den EUF-Extrakten der drei Fraktionen enge Beziehungen zwischen Corg und Norg erkennen. Die mit zunehmender Versuchsdauer gefundenen Beziehungen deuten auf mikrobiologische Aktivität in den Böden hin. Die Corg-Fraktion beinhaltet auch die Norg-Fraktion. Die Analyse auf Corg und Norg erfolgte in der gleichen Probe.

Tab. 37: Korrelationskoeffizienten (r) der EUF-Corg-Gehalte *versus* EUF-Norg-Menge zu den jeweiligen Probenahmeterminen des Versuches

EUF-Corg- Verlauf 20°C Fr.	EUF-Norg-Verlauf 20°C Fraktion				
	Anfang 05. Mai	Aussaat 22. Jun	1.Schnitt 20. Jul	2.Schnitt 19. Aug	3.Schnitt 07. Okt
	T ₀	T ₄₈	T ₇₆	T ₁₀₆	T ₁₅₅
T ₀	0,05	0,06	0,01	-0,08	-0,02
T ₄₈	---	0,76***	0,58**	0,47*	0,66**
T ₇₆	---	---	0,84***	0,77***	0,83***
T ₁₀₆	---	---	---	0,63**	0,63**
T ₁₅₅	---	---	---	---	0,74***
80°C Fr.	80°C Fraktion				
T ₀	0,46*	0,41	0,38	0,36	0,33
T ₄₈	---	0,65**	0,68***	0,71***	0,64**
T ₇₆	---	---	0,68***	0,73***	0,66**
T ₁₀₆	---	---	---	0,73***	0,69***
T ₁₅₅	---	---	---	---	0,63**
20°C+80°C Fr.	20°C + 80°C Fraktion				
T ₀	0,15	0,14	0,10	0,04	0,07
T ₄₈	---	0,83***	0,77***	0,64**	0,79***
T ₇₆	---	---	0,85***	0,82***	0,82***
T ₁₀₆	---	---	---	0,70***	0,69***
T ₁₅₅	---	---	---	---	0,71***

n = 20 Versuchsböden; Signifikanz: *, **, *** entsprechen p < 5%, 1 %, 0,1 %

Die Termine entsprechen der jeweiligen Anzahl an Tagen nach Ansetzen des Gefäßversuches.

4.11 Beziehungen zwischen Corg- und Nmin-Gehalte in den EUF-Extrakten während der Versuchsdauer

Da die mittels EUF erfaßten Nmin-Gehalte aus organischen Verbindungen freigesetzt werden können, war von Interesse zu überprüfen, in welcher Beziehung die EUF-Nmin-Gehalte zu den EUF-Corg-Mengen im Verlaufe des Gefäßversuches stehen. In Tabellen 38, 39 sind die Beziehungen des EUF-Corg *versus* EUF-NH₄⁺ und *versus* EUF-NO₃⁻ zu jedem Probenahmetermin zusammengefaßt.

In den EUF-Extrakten der 20°C Fraktion war über den gesamten Versuchszeitraum nur ein schwach signifikant negativer Zusammenhang (r = -0,53*) zwischen Corg (T₄₈) und NH₄⁺ (T₁₀₆) zu verzeichnen (Tabelle 37).

Tab. 38: Korrelationskoeffizienten (r) der EUF-Corg-Gehalte *versus* EUF-NH₄⁺-Menge
zu den jeweiligen Probenahmeterminen des Versuches

		EUF-NH ₄ ⁺ -Verlauf			
		20°C Fraktion			
EUF-Corg-Verlauf	Anfang	Aussaat	1.Schnitt	2.Schnitt	3.Schnitt
20°C Fr.	05. Mai	22. Jun	20. Jul	19. Aug	07. Okt
	T ₀	T ₄₈	T ₇₆	T ₁₀₆	T ₁₅₅
T ₀	0,10	-0,18	-0,33	0,03	0,22
T ₄₈	---	0,05	-0,34	-0,53*	0,00
T ₇₆	---	---	-0,14	-0,21	0,07
T ₁₀₆	---	---	---	0,00	0,17
T ₁₅₅	---	---	---	---	-0,08
		80°C Fraktion			
T ₀	0,54*	0,49*	0,26	0,55	0,41
T ₄₈	---	0,44*	0,53*	0,48*	0,66**
T ₇₆	---	---	0,60**	0,52*	0,71***
T ₁₀₆	---	---	---	0,51*	0,67**
T ₁₅₅	---	---	---	---	0,68***
		20°C + 80°C Fraktion			
T ₀	0,22	0,03	-0,13	0,21	0,30
T ₄₈	---	0,03	-0,21	-0,35	0,16
T ₇₆	---	---	0,12	0,07	0,37
T ₁₀₆	---	---	---	0,18	0,43
T ₁₅₅	---	---	---	---	0,34

n = 20 Versuchsböden; Signifikanz: *, **, *** entsprechen $p < 5\%$, 1% , $0,1\%$

Die Termine entsprechen der jeweiligen Anzahl an Tagen nach Ansetzen des Gefäßversuches.

Im Gegensatz zur 20°C Fraktion ergaben sich bei der 80°C Fraktion im Verlaufe der Vegetationsperiode signifikant positive Korrelationskoeffizienten zwischen EUF-Corg und EUF-NH₄⁺. Auffällig hoch und deutlich enger waren die Koeffizienten zu Versuchsende im Vergleich zu den anderen Probenahmeterminen.

Bei der 20°C+80°C Fraktion konnten keine signifikanten Beziehungen zwischen EUF-Corg und EUF-NH₄⁺ nachgewiesen werden, weil die Corg-Konzentrationen in den EUF-Extrakten der 20°C Fraktion viel höher als die Konzentrationen der 80°C Fraktion sind und einen stärkeren Einfluß auf das Signifikanzniveau der Korrelationen aufzeigen. Der Befund ist insofern interessant als der stärker gebundene Corg zum Zwischenschicht NH₄⁺ in kausaler Beziehung stehen könnte.

Aufgrund der im Boden höheren NO_3^- -Konzentrationen ließen sie sich während der Versuchsdauer engere Beziehungen zu den EUF-Corg-Gehalten zeigen als die entsprechenden Beziehungen der NH_4^+ Konzentrationen zur Corg-Menge (Tabelle 39).

Tab. 39: Korrelationskoeffizienten (r) der EUF-Corg-Gehalte *versus* EUF- NO_3^- - Menge
zu den jeweiligen Probenahmeterminen des Versuches

EUF- NO_3^- -Verlauf					
20°C Fraktion					
EUF-Corg- Verlauf 20°C Fr.	Anfang 05. Mai T ₀	Aussaat 22. Jun T ₄₈	1.Schnitt 20. Jul T ₇₆	2.Schnitt 19. Aug T ₁₀₆	3.Schnitt 07. Okt T ₁₅₅
T ₀	-0,14	-0,14	-0,12	0,07	0,11
T ₄₈	---	0,34	0,61**	0,16	0,67**
T ₇₆	---	---	0,32	0,05	0,69***
T ₁₀₆	---	---	---	0,36	0,64**
T ₁₅₅	---	---	---	---	0,62**
80°C Fraktion					
T ₀	0,04	0,34	-0,25	0,41	0,39
T ₄₈	---	0,65**	0,10	0,36	0,74***
T ₇₆	---	---	0,09	0,44*	0,73***
T ₁₀₆	---	---	---	0,43	0,65**
T ₁₅₅	---	---	---	---	0,66**
20°C+80°C Fr.					
20°C + 80°C Fraktion					
T ₀	-0,08	-0,06	-0,25	0,22	0,23
T ₄₈	---	0,47*	0,36	0,31	0,75***
T ₇₆	---	---	0,24	0,41	0,82***
T ₁₀₆	---	---	---	0,55*	0,77***
T ₁₅₅	---	---	---	---	0,78***

n = 20 Versuchsböden; Signifikanz: *, **, *** entsprechen $p < 5\%$, 1% , $0,1\%$

Die Termine entsprechen der jeweiligen Anzahl an Tagen nach Ansetzen des Gefäßversuches.

Die Corg-Gehalte der EUF-Fractionen zu Versuchsbeginn wiesen keine Beziehung zum Verlauf der NO_3^- -Menge über den gesamten Versuchszeitraum auf. Die Corg-Gehalte der 20°C Fraktion vor der Aussaat (T₄₈) zeigten einen signifikant positiven Zusammenhang zur NO_3^- -Menge zum Zeitpunkt T₇₆ ($r = 0,61^{**}$). Bei der 80°C Fraktion ergaben sich signifikante Zusammenhänge zwischen den Corg-Gehalten zu T₄₈ und der NO_3^- -Menge zu dem selben Termin ($r = 0,65^{**}$) sowie zwischen Corg zu T₇₆ und NO_3^- zu T₁₀₆ ($r = 0,44^*$). Bei der

20°C+80°C Fraktion waren diese Beziehungen zum Zeitpunkt T_{48} ($r = 0,47^*$) und T_{106} ($r = 0,55^*$) zu erkennen. Die Beziehungen waren jedoch weniger deutlich.

Bei allen drei EUF-Fractionen konnten am Ende der Vegetationsperiode hoch signifikante Korrelationskoeffizienten der NO_3^- -Menge zum Corg der T_{48} , T_{76} , T_{106} und T_{155} festgestellt werden. Besonders hoch waren diese Koeffizienten bei der 20°C+80°C EUF-Fraktion (T_{48} $r = 0,75^{***}$; T_{76} $r = 0,82^{***}$; T_{106} $r = 0,77^{***}$; T_{155} $r = 0,78^{***}$). Die engen Beziehungen zwischen Corg und NO_3^- am Ende der Vegetationsperiode hängen mit der zu Versuchsende entsprechenden Abnahme der EUF extrahierbaren Corg-Gehalte zusammen. Dies deutet darauf hin, daß die NO_3^- -Menge aus organischen Verbindungen freigesetzt wurde.

4.12 Beziehungen zwischen fix.- NH_4^+ - und EUF- NH_4^+ -Gehalte während der Versuchsdauer

In Tabelle 40 sind die Korrelationskoeffizienten der in 2:1 Tonmineralen fixierten NH_4^+ -Gehalte und ihrer Nettofreisetzung zu Versuchsende *versus* NH_4^+ -Konzentrationen in den EUF-Extrakten zu den jeweiligen Probenahmeterminen des Versuches dargestellt.

Vom Versuchsbeginn (T_0) bis zur Aussaat (T_{48}) konnte keine signifikante Beziehung zwischen fixiertem NH_4^+ und EUF- NH_4^+ identifiziert werden. Die bis zur Aussaat fix.- NH_4^+ -Gehalte waren mit den während der Vegetationsperiode extrahierten EUF- NH_4^+ -Mengen der 20°C Fraktion schwach positiv korreliert (T_{76} $r = 0,48^*$; T_{106} $r = 0,45^*$; T_{155} $r = 0,48^*$). Die entsprechenden Beziehungen der EUF- NH_4^+ -Mengen der 80°C Fraktion zu den fix.- NH_4^+ -Gehalten waren deutlich enger. Besonders höher waren die Korrelationskoeffizienten zwischen den Fix.- NH_4^+ -Gehalten zur Aussaat und den EUF- NH_4^+ -Mengen der 80°C Fraktion zu T_{76} ($r = 0,67^{**}$), T_{106} ($r = 0,60^{**}$), T_{155} ($r = 0,65^{**}$). Ein ähnliches Bild, wie der 80°C Fraktion, zeigten die EUF- NH_4^+ -Gehalte der 20°C+80°C Fraktion zur jeweils fixierten NH_4^+ -Menge.

Interessant war, daß zwischen der erfaßten Nettofreisetzung $_{(T_0-T_{155})}$ des fix.- NH_4^+ zu Versuchsende und den EUF- NH_4^+ -Gehalten der 80°C Fraktion zu Versuchsbeginn ein signifikant negativer Zusammenhang festgestellt wurde ($r = -0,58^{**}$). Es zeigten sich tendenziell negative Zusammenhänge der Nettofreisetzung des fix.- NH_4^+ zu den EUF- NH_4^+ -Gehalten der 20°C- und 20°C+80°C Fraktion im Verlaufe des Versuches. Diese Beziehungen konnten jedoch statistisch nicht abgesichert werden.

Die Darstellung des Verlaufes der Nettofreisetzung des fix.-NH₄⁺ zeigte, daß deutliche Unterschiede hinsichtlich der Freisetzungintensität zwischen den einzelnen Probenahmeterminen zu verzeichnen waren (Tabelle 28).

Tab. 40: Korrelationskoeffizienten (r) der fix.-NH₄⁺-Gehalte *versus* EUF- NH₄⁺-Menge zu den jeweiligen Probenahmeterminen des Versuches

EUF-NH ₄ ⁺ - Verlauf	fix. NH ₄ ⁺ -Verlauf			
	T ₀	T ₄₈	T ₁₅₅	Freisetzung _(T0-T155)
20°C Fr.				
T ₀	0,27	---	---	-0,10
T ₄₈	0,28	0,28	---	-0,15
T ₇₆	0,44*	0,48*	---	-0,19
T ₁₀₆	0,37	0,45*	---	-0,25
T ₁₅₅	0,46*	0,48*	0,47*	-0,20
80°C Fr.				
T ₀	0,16	---	---	-0,58**
T ₄₈	0,16	0,17	---	-0,04
T ₇₆	0,62**	0,67**	---	-0,32
T ₁₀₆	0,52*	0,60**	---	-0,39
T ₁₅₅	0,63**	0,65**	0,64**	-0,20
20°C+80°C Fr.				
T ₀	0,26	---	---	-0,28
T ₄₈	0,27	0,28	---	-0,11
T ₇₆	0,58**	0,63**	---	-0,27
T ₁₀₆	0,45*	0,53*	---	-0,32
T ₁₅₅	0,61**	0,65**	0,63**	-0,23

n = 20 Versuchsböden; Signifikanz: *, **, entsprechen p < 5%, 1 %,

Die Termine entsprechen der jeweiligen Anzahl an Tagen nach Ansetzen des Gefäßversuches.

Vom Versuchsbeginn bis zur Aussaat konnte kein signifikanter Unterschied der fix.-NH₄⁺ Gehalte in den Böden nachgewiesen werden. Das fix.-NH₄⁺ zeigte aber während der Vegetationsperiode, zwischen T₄₈ und T₁₅₅ eine hoch signifikante Abnahme. Zu dem selben Versuchszeitraum (T₄₈ bis T₁₅₅) war auch die NH₄⁺-Konzentration der Bodenlösung sehr niedrig (Tabelle 24) Diese Befunde weisen darauf hin, daß das fix.-NH₄⁺ während der Vegetationsperiode in die Bodenlösung freigesetzt wurde, weil ein Konzentrationsgradient zwischen dem NH₄⁺ der Bodenlösung und dem fix.-NH₄⁺ vorlag. Das wird auch von der im

Verlauf des Versuches gefundenen Beziehungen zwischen den fix.-NH₄⁺-Gehalten und den EUF-NH₄⁺-Mengen bestätigt.

In den ersten 48 Tagen des Versuches, als die Böden noch nicht bepflanzt waren, blieben die NH₄⁺-Konzentrationen der Bodenlösung nahezu unverändert. Aber je höher die NH₄⁺-Konzentrationen der Bodenlösung sind, um so geringer ist die Nettofreisetzung des fix.-NH₄⁺, wodurch sich die negative Beziehung zwischen Nettofreisetzung des fix.-NH₄⁺ und den EUF-NH₄⁺-Gehalten der 80°C Fraktion zu Versuchsbeginn erklärt.

4.13 Beziehungen der Nmin-Gehalte in den EUF-Extrakten zur N-Aufnahme der Pflanzen und zur Netto-N-Mineralisation während der Versuchsdauer

In Tabellen 41 und 42 sind die Korrelationskoeffizienten (r) der EUF-NH₄⁺- bzw. NO₃⁻ -Gehalte zu jedem Probenahmetermin *versus* N-Aufnahme des Weidelgrases zu den drei Schnitten und *versus* Netto-N-Mineralisation zu Versuchsende aufgelistet.

Wie Tabelle 41 zeigt, waren die NH₄⁺-Gehalte in den EUF-Extrakten der 20°C Fraktion um so enger mit den N-Gehalten im Aufwuchs (N-Aufnahme) korreliert, je näher die Probenahme am Vegetationsbeginn lag. Die engste Beziehung bestand zwischen EUF-NH₄⁺-Gehalte zu Versuchsbeginn (T₀) und N-Aufnahme des 1.Schnittes (T₇₆ r = 0,75***). Zur N-Aufnahme des 2.- und 3.Schnittes ergaben sich niedrigere, jedoch signifikante Korrelationskoeffizienten (T₁₀₆ r = 0,66**; T₁₅₅ r = 0,50*). Die EUF-NH₄⁺-Gehalte zur Aussaat (T₄₈) zeigten auch signifikante Beziehungen zur N-Aufnahme der Grasschnitte. Die Koeffizienten waren hier niedriger (T₇₆ r = 0,62**; T₁₀₆ r = 0,59**; T₁₅₅ r = 0,50*) als die der zu Versuchsbeginn EUF-NH₄⁺-Gehalte. Signifikant hoch und deutlich enger als die Beziehung der EUF-NH₄⁺-Gehalte zur Aussaat (r = 0,61**) *versus* Gesamt-N-Aufnahme der Pflanzen war der Korrelationskoeffizient der EUF-NH₄⁺-Menge zu Versuchsbeginn (r = 0,71***). Zwischen den EUF-NH₄⁺-Gehalte der 20°C Fraktion zu den Probenahmeterminen T₇₆, T₁₀₆, T₁₅₅ und der N-Aufnahme zu den drei Schnitten war keine signifikante Beziehung zu erkennen. Nur die NH₄⁺-Menge zu T₇₆ wies zufällig einen schwach signifikant negativen Zusammenhang zu den N-Gehalten in den Wurzeln auf (r = -0,45*).

Im Gegensatz zur 20°C Fraktion konnte zwischen EUF-NH₄⁺-Gehalte der 80°C Fraktion zu Versuchsbeginn und der N-Aufnahme zu den drei Schnitten keine signifikante Beziehung nachgewiesen werden. Nur die EUF-NH₄⁺-Mengen zum Zeitpunkt T₄₈ und T₁₅₅ waren mit dem N-Entzug des 3.Schnittes schwach signifikant korreliert (r = 0,46* bzw. r = 0,48*). Ein

schwach signifikant positiver Zusammenhang konnte auch zwischen den EUF-NH₄⁺-Gehalte zu Versuchsende und Gesamt-N-Aufnahme der Pflanzen identifiziert werden ($r = 0,47^*$).

Tab. 41: Korrelationskoeffizienten (r) der EUF-NH₄⁺-Gehalte zu den jeweiligen Probenahmeterminen des Versuches *versus* N-Aufnahme des Weidelgrases und *versus* Netto-N-Mineralisation

EUF-NH ₄ ⁺	N-Aufnahme der Pflanzen und Netto-N-Mineralisation					
	1.Schnitt	2.Schnitt	3.Schnitt	Wurzeln-N	Gesamtentzug	Netto-Nmin
	20. Jul	19. Aug	07. Okt	07. Okt	07. Okt	07. Okt
20°C Fr.	T ₇₆	T ₁₀₆	T ₁₅₅	T ₁₅₅	T ₁₅₅	T ₁₅₅
T ₀	0,75****	0,66**	0,50*	0,34	0,71****	0,03
T ₄₈	0,62**	0,59**	0,50*	0,34	0,61**	0,33
T ₇₆	-0,04	0,02	0,02	- 0,45*	-0,10	-0,20
T ₁₀₆	---	-0,05	0,23	-0,35	-0,05	0,06
T ₁₅₅	---	---	-0,07	-0,35	-0,10	0,02
80°C Fr.						
T ₀	0,35	0,24	0,23	-0,05	0,28	0,12
T ₄₈	0,10	0,30	0,46*	0,05	0,16	0,34
T ₇₆	0,40	0,34	0,38	-0,25	0,31	-0,09
T ₁₀₆	---	0,14	0,33	-0,30	0,15	0,06
T ₁₅₅	---	---	0,48*	0,00	0,47*	0,17
20°C+80°C Fr.						
T ₀	0,67**	0,57**	0,45*	0,24	0,62**	0,06
T ₄₈	0,40	0,54*	0,62**	0,22	0,44*	0,44*
T ₇₆	0,17	0,18	0,20	-0,40	0,09	-0,17
T ₁₀₆	---	0,02	0,28	-0,35	0,03	0,07
T ₁₅₅	---	---	0,20	-0,22	0,18	0,10

n = 20 Versuchsböden; Signifikanz: *, **, **** entsprechen $p < 5\%$, 1% , $0,1\%$

Die Termine entsprechen der jeweiligen Anzahl an Tagen nach Ansetzen des Gefäßversuches.

Aufgrund der schwach signifikanten Beziehungen der EUF-NH₄⁺-Gehalte der 80°C Fraktion zeigte die Summe der NH₄⁺-Gehalte der 20°C+80°C Fraktion niedrigere Korrelationskoeffizienten zur N-Aufnahme der Pflanzen als die NH₄⁺-Gehalte der 20°C Fraktion alleine. Der höchste Koeffizient war hier, wie bei 20°C Fraktion, zwischen NH₄⁺-Menge zu Versuchsbeginn und dem N-Entzug des 1.Schnittes zu verzeichnen ($r = 0,67^{**}$).

Über den gesamten Versuchszeitraum ergaben sich keine signifikanten Beziehungen zwischen den EUF-NH₄⁺-Gehalten der 20°C Fraktion und der Netto-N-Mineralisation in den Böden.

Die EUF-NH₄⁺-Gehalte der 80°C Fraktion zeigten die gleichen Tendenz wie die der 20°C Fraktion. Nur bei der 20°C+80°C Fraktion war für die NH₄⁺-Menge vor der Aussaat (T₄₈) ein schwach signifikant positiver Zusammenhang zur Netto-N-Mineralisation gegeben (r = 0,44*).

Auffällig hoch und deutlich enger als die Beziehungen des NH₄⁺ zur N-Aufnahme der Pflanzen waren die Korrelationskoeffizienten des NO₃⁻ (Tabelle 42).

Tab. 42: Korrelationskoeffizienten (r) der EUF-NO₃⁻-Gehalte zu den jeweiligen Probenahmeterminen des Versuches *versus* N-Aufnahme des Weidelgrases und *versus* Netto-N-Mineralisation

EUF-NO ₃ ⁻	N-Aufnahme der Pflanzen und Netto-N-Mineralisation					
	1.Schnitt	2.Schnitt	3.Schnitt	Wurzeln-N	Gesamtentzug	Netto-Nmin
	20. Jul	19. Aug	07. Okt	07. Okt	07. Okt	07. Okt
20°C Fr.	T ₇₆	T ₁₀₆	T ₁₅₅	T ₁₅₅	T ₁₅₅	T ₁₅₅
T ₀	0,94***	0,82***	0,55*	0,41	0,88***	-0,13
T ₄₈	0,95***	0,90***	0,65**	0,53*	0,93***	0,09
T ₇₆	0,46*	0,59**	0,24	0,41	0,50*	0,04
T ₁₀₆	---	0,20	0,15	0,05	0,16	0,20
T ₁₅₅	---	---	0,28	0,25	0,33	0,26
80°C Fr.						
T ₀	0,95***	0,90***	0,65**	0,53*	0,93***	0,09
T ₄₈	0,46*	0,59**	0,24	0,41	0,50*	0,04
T ₇₆	0,16	0,20	0,15	0,05	0,16	0,20
T ₁₀₆	---	0,44*	0,28	0,25	0,33	0,26
T ₁₅₅	---	---	0,28	0,25	0,33	0,26
20°C+80°C Fr.						
T ₀	0,94***	0,82***	0,57**	0,41	0,88***	-0,12
T ₄₈	0,96***	0,92***	0,69***	0,54*	0,94***	0,12
T ₇₆	0,22	0,37	0,05	0,05	0,22	-0,24
T ₁₀₆	---	0,26	0,13	0,09	0,20	0,32
T ₁₅₅	---	---	0,40	0,32	0,44*	0,30

n = 20 Versuchsböden; Signifikanz: *, **, *** entsprechen p < 5%, 1 %, 0,1 %

Die Termine entsprechen der jeweiligen Anzahl an Tagen nach Ansetzen des Gefäßversuches.

Es ergaben sich hoch signifikante Zusammenhänge zwischen EUF-NO₃⁻-Gehalte der 20°C Fraktion zu Versuchsbeginn (T₀) und N-Aufnahme des Weidelgrases zum 1.- und 2. Schnitt (T₇₆ r = 0,94***; T₁₀₆ r = 0,82***). Die EUF-NO₃⁻-Gehalte zu Versuchsbeginn zeigten auch eine schwach signifikant positive Beziehung zum N-Entzug des 3.Schnittes (T₁₅₅ r = 0,55*).

Die NO_3^- -Menge zur Aussaat (T_{48}) wies höhere Korrelationskoeffizienten zum N-Entzug der drei Grasschnitte auf als die NO_3^- -Gehalte zu Versuchsbeginn (T_{76} $r = 0,95^{***}$; T_{106} $r = 0,90^{***}$; T_{155} $r = 0,65^{**}$). Die NO_3^- -Menge zur Aussaat war auch mit dem Wurzeln-N schwach signifikant korreliert (T_{155} $r = 0,53^*$). Signifikante Beziehungen bestanden zwischen den NO_3^- -Gehalten zum Zeitpunkt T_{76} und der N-Aufnahme des 1.- und 2. Schnittes ($r = 0,46^*$ bzw. $r = 0,59^{**}$). Diese Beziehungen waren jedoch weniger deutlich. Zwischen den NO_3^- -Gehalten der zwei letzten Terminen (T_{106} , T_{155}) und der N-Aufnahme der Pflanzen konnte kein signifikanter Zusammenhang festgestellt werden. Die engsten Beziehung zur Gesamt-N-Aufnahme der Pflanzen wiesen die NO_3^- -Gehalte zur Aussaat auf ($r = 0,93^{***}$). Die NO_3^- -Werte zu Versuchsbeginn und zu T_{76} zeigten niedrigere Korrelationskoeffizienten zum Gesamt-N-Entzug als die zur Aussaat NO_3^- -Gehalte ($r = 0,88^{***}$ bzw. $r = 0,50^*$).

Bei der 80°C Fraktion wurden im Gegensatz zur 20°C Fraktion die höchsten Korrelationskoeffizienten zwischen NO_3^- -Gehalte zu Versuchsbeginn und N-Aufnahme der Pflanzen gefunden (1. Schnitt $r = 0,95^{***}$; 2. Schnitt $r = 0,90^{***}$; 3. Schnitt $r = 0,65^{**}$; Wurzeln-N $r = 0,53^*$; Gesamt-N-Entzug $r = 0,93^{***}$). Die NO_3^- -Gehalte zur Aussaat zeigten auch signifikant positive Beziehungen zur N-Aufnahme der Pflanzen, wobei sich nur zum 1.- und 2. Schnitt ($r = 0,46^*$ bzw. $r = 0,59^{**}$) eine Signifikanz ergab. Die NO_3^- -Gehalte zur Aussaat korrelierten nur schwach mit der gesamten N-Aufnahme der Pflanzen ($r = 0,50^*$).

Bei der $20^\circ\text{C}+80^\circ\text{C}$ Fraktion konnte die engste Beziehung zwischen den NO_3^- -Gehalten zur Aussaat und dem N-Entzug des 1. Schnittes identifiziert werden ($r = 0,96^{***}$). Das Bestimmtheitsmaß betrug hier 92%. Dieser Befund ist besonders bemerkenswert, weil er zeigt, daß das Gras bis zum 1. Schnitt hauptsächlich vom Nitrat ernährt wurde. Zur Aussaat waren aber die NO_3^- -Konzentrationen im Boden durchschnittlich etwa doppelt so hoch wie die N-Aufnahme des 1. Schnittes (siehe Abb. 7). Das läßt vermuten, daß zu diesem Zeitpunkt auch eine gewisse N-Immobilisierung im Boden erfolgte. Daher war von Interesse zu überprüfen, ob die N-Immobilisierung mit der erfaßten EUF-Corg-Menge zur Aussaat signifikant zusammenhängt. Die N-Immobilisierung zu diesem Zeitpunkt wurde aus der Differenz zwischen EUF- NO_3^- -Menge zur Aussaat und N-Entzug des 1. Schnittes berechnet. Es konnte eine schwach signifikant positive Beziehung zwischen N-Immobilisation und EUF-Corg-Menge zur Aussaat nachgewiesen werden ($r = 0,50^*$).

Die NO_3^- -Gehalten zu allen Terminen ließen in keiner der drei EUF-Fractionen signifikante Beziehungen zur Netto-N-Mineralisation im Boden erkennen.

4.14 Beziehungen der Norg-Gehalte in den EUF-Extrakten zur N-Aufnahme der Pflanzen und zur Netto-N-Mineralisation während der Versuchsdauer

Tabelle 43 zeigt, daß zwischen den EUF-Norg-Gehalten zu allen Probenahmeterminen und der N-Aufnahme der Pflanzen signifikante Beziehungen bestanden.

Tab. 43: Korrelationskoeffizienten (r) der EUF-Norg-Gehalte zu den jeweiligen Probenahmeterminen des Versuches *versus* N-Aufnahme des Weidelgrases und *versus* Netto-N-Mineralisation

EUF-Norg	N-Aufnahme der Pflanzen und Netto-N-Mineralisation					
	1.Schnitt	2.Schnitt	3.Schnitt	Wurzeln-N	Gesamtenzug	Netto-Nmin
	20. Jul	19. Aug	07. Okt	07. Okt	07. Okt	07. Okt
20°C Fr.	T ₇₆	T ₁₀₆	T ₁₅₅	T ₁₅₅	T ₁₅₅	T ₁₅₅
T ₀	0,74***	0,75***	0,45*	0,46*	0,73***	0,16
T ₄₈	0,69***	0,78***	0,43	0,53*	0,72***	0,14
T ₇₆	0,51*	0,58**	0,28	0,28	0,51*	0,11
T ₁₀₆	---	0,72***	0,48*	0,50*	0,71***	0,30
T ₁₅₅	---	---	0,39	0,49*	0,61**	0,22
80°C Fr.						
T ₀	0,61**	0,62**	0,37	0,43	0,61**	0,30
T ₄₈	0,44*	0,53*	0,32	0,31	0,46*	0,17
T ₇₆	0,60**	0,69***	0,30	0,50*	0,63**	0,15
T ₁₀₆	---	0,70***	0,38	0,50*	0,69***	0,17
T ₁₅₅	---	---	0,31	0,50*	0,62**	0,12
20°C+80°C Fr.						
T ₀	0,72***	0,73***	0,44*	0,47*	0,72***	0,21
T ₄₈	0,65**	0,75***	0,42	0,49*	0,68***	0,16
T ₇₆	0,58**	0,66**	0,31	0,39	0,59**	0,13
T ₁₀₆	---	0,75***	0,46*	0,52*	0,74***	0,26
T ₁₅₅	---	---	0,37	0,51*	0,63**	0,19

n = 20 Versuchsböden; Signifikanz: *, **, *** entsprechen p < 5%, 1 %, 0,1 %

Die Termine entsprechen der jeweiligen Anzahl an Tagen nach Ansetzen des Gefäßversuches.

Die engsten Beziehungen waren zwischen den EUF-Norg-Gehalte der 20°C Fraktion zu Versuchsbeginn (T_0) und der N-Aufnahme der Pflanzen zu erkennen (1.Schnitt $r = 0,74^{***}$; 2.Schnitt $r = 0,75^{***}$; 3.Schnitt $r = 0,45^*$; Wurzeln-N $r = 0,46^*$; Gesamt-N-Entzug $r = 0,73^{***}$). Auch die EUF-Norg-Gehalte zur Aussaat (T_{48}) zeigten zur N-Aufnahme der Pflanzen, mit Ausnahme des 3.Schnittes, ähnliche Beziehungen wie die Norg-Menge des ersten Termins (1.Schnitt $r = 0,69^{***}$; 2.Schnitt $r = 0,78^{***}$; 3.Schnitt $r = 0,43$ nicht signifikant; Wurzeln-N $r = 0,53^*$; Gesamt-N-Entzug $r = 0,72^{***}$). Die Norg-Gehalte zu T_{76} waren weniger mit der N-Aufnahme korreliert als die Norg-Werte der beiden ersten Terminen (1.Schnitt $r = 0,51^*$; 2.Schnitt $r = 0,58^{**}$; 3.Schnitt $r = 0,28$ nicht signifikant; Wurzeln-N $r = 0,28$ nicht signifikant; Gesamt-N-Entzug $r = 0,51^*$). Zum Zeitpunkt T_{106} korrelierte die Norg-Menge enger mit der N-Aufnahme als die Norg-Gehalte zu T_{76} (2.Schnitt $r = 0,72^{***}$; 3.Schnitt $r = 0,48^*$; Wurzeln-N $r = 0,50^*$; Gesamt-N-Entzug $r = 0,71^{***}$). Signifikante Koeffizienten der Norg-Gehalte zur N-Aufnahme konnten auch zu Versuchsende festgestellt werden. Sie waren nur zum Wurzeln-N und Gesamt-N-Entzug statistisch nachweisbar ($r = 0,49^*$ bzw. $r = 0,61^{**}$).

Bei der 80°C Fraktion waren zu den zwei ersten Probenahmeterminen die Korrelationskoeffizienten der EUF-Norg-Gehalte zur N-Aufnahme der Pflanzen deutlich niedriger als die der Norg-Gehalte der 20°C Fraktion (T_0 $r = 0,61^{**}$; $r = 0,62^{**}$; T_{48} $r = 0,44^*$; $r = 0,53^*$). Im Gegensatz zur 20°C Fraktion wiesen die Norg-Gehalte der 80°C Fraktion zum Zeitpunkt T_{76} und T_{106} die engsten Beziehungen zur N-Aufnahme der Pflanzen auf (T_{76} : 1.Schnitt $r = 0,60^{**}$; 2.Schnitt $r = 0,69^{***}$; T_{106} : 2.Schnitt $r = 0,70^{***}$). Zu allen Terminen konnten signifikante Zusammenhänge zwischen Norg-Gehalte der 80°C Fraktion und der gesamten N-Aufnahme der Pflanzen nachgewiesen werden.

Hoch signifikant positive Korrelationen zur N-Aufnahme wurden auch bei den Norg-Gehalte der 20°C+80°C Fraktion festgestellt. Die höchsten Koeffizienten der Norg-Gehalte zur N-Aufnahme waren hier zum Zeitpunkt T_{106} (2.Schnitt) zu verzeichnen (T_0 $r = 0,73^{***}$; T_{48} $r = 0,75^{***}$; T_{76} $r = 0,66^{**}$; T_{106} $r = 0,75^{***}$). Die EUF extrahierbaren Norg-Gehalte waren auch zu allen Terminen ,außer T_{76} , mit dem Wurzeln-N schwach korreliert (T_0 $r = 0,47^*$; T_{48} $r = 0,49^*$; T_{106} $r = 0,52^*$; T_{155} $r = 0,51^*$). Man sollte hier erwähnen, daß im Durchschnitt der 20 Böden etwa 25 % des von den Pflanzen aufgenommenen Stickstoffs in den Wurzeln zu finden war (siehe Tabelle 29). Der Gesamt-N-Entzug war zu allen Terminen und bei allen EUF-Fractionen positiv mit dem EUF-Norg korreliert; im Gegensatz zu EUF-Nitrat, das nur während der ersten Termine dem Gesamt-N-Entzug korreliert war.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die untersuchten Norg-Gehalte von allen EUF-Fractionen und unter Berücksichtigung aller fünf Probenahmeterminen am engsten mit der N-Aufnahme des Weidelgrases zum 2.Schnitt korrelierten. Dieser Befund deutet darauf hin, daß die Pflanzen in den späteren Phasen der Vegetationsperiode vom organischen Stickstoff ernährt wurden.

Über den gesamten Versuchszeitraum waren keinerlei signifikante Zusammenhänge zwischen den EUF-Norg-Gehalten und der Netto-N-Mineralisation zu erkennen.

4.15 Beziehungen der Corg-Gehalte in den EUF-Extrakten zur N-Aufnahme der Pflanzen und zur Netto-N-Mineralisation während der Versuchsdauer

Wie Tabelle 44 zu entnehmen ist, wiesen die EUF-Corg-Gehalte der 20°C Fraktion beider ersten Probenahmeterminen keine signifikante Beziehung zur N-Aufnahme des Weidelgrases zu den drei Schnitten auf. Nur zwischen den Corg-Gehalten zur Aussaat (T₄₈) und dem Wurzeln-N lag ein schwach signifikant positiver Koeffizient vor ($r = 0,47^*$).

Tab. 44: Korrelationskoeffizienten (r) der EUF-Corg-Gehalte zu den jeweiligen Probenahmeterminen des Versuches *versus* N-Aufnahme des Weidelgrases und *versus* Netto-N-Mineralisation

EUF-Corg	N-Aufnahme der Pflanzen und Netto-N-Mineralisation					
	1.Schnitt 20. Jul	2.Schnitt 19. Aug	3.Schnitt 07. Okt	Wurzeln-N 07. Okt	Gesamtanzug 07. Okt	Netto-Nmin 07. Okt
20°C Fr.	T ₇₆	T ₁₀₆	T ₁₅₅	T ₁₅₅	T ₁₅₅	T ₁₅₅
T ₀	-0,12	-0,10	0,07	0,09	-0,08	0,19
T ₄₈	0,25	0,41	0,05	0,47*	0,32	0,08
T ₇₆	0,38	0,47*	0,28	0,38	0,42	0,37
T ₁₀₆	---	0,50*	0,35	0,29	0,41	0,36
T ₁₅₅	---	---	0,63**	0,39	0,62**	0,35
80°C Fr.						
T ₀	0,11	0,19	0,28	0,12	0,15	0,38
T ₄₈	0,60**	0,71***	0,63**	0,28	0,61**	0,30
T ₇₆	0,64**	0,72***	0,64**	0,26	0,64**	0,27
T ₁₀₆	---	0,72***	0,66**	0,28	0,66**	0,24
T ₁₅₅	---	---	0,57**	0,20	0,55*	0,24
20°C+80°C Fr.						
T ₀	-0,06	-0,02	0,14	0,11	-0,02	0,26
T ₄₈	0,39	0,57**	0,23	0,49*	0,46*	0,15
T ₇₆	0,54*	0,64**	0,47*	0,38	0,57**	0,38

T ₁₀₆	---	0,63**	0,50*	0,31	0,54*	0,36
T ₁₅₅	---	---	0,66**	0,34	0,65**	0,34

n = 20 Versuchsböden; Signifikanz: *, **, *** entsprechen $p < 5\%$, 1% , $0,1\%$

Die Termine entsprechen der jeweiligen Anzahl an Tagen nach Ansetzen des Gefäßversuches.

Auch die Corg-Gehalte zu T₇₆ und T₁₀₆ zeigten schwach signifikante Zusammenhänge zum N-Entzug des 2.Schnittes ($r = 0,47^*$ bzw. $r = 0,50^*$). Zwischen den Corg-Gehalte zu Versuchsende und der N-Aufnahme des 3.Schnittes war der Zusammenhang etwas enger ($r = 0,63^{**}$). Die Corg-Werte zu diesem Termin waren die einzigen, die signifikant mit der gesamten N-Aufnahme der Pflanzen korrelierten ($r = 0,62^{**}$).

Auffällig hoch und deutlich enger als die Beziehungen der Corg-Werte der 20°C Fraktion zur N-Aufnahme waren die Koeffizienten der Corg-Gehalte der 80°C Fraktion. Mit Ausnahme des ersten Termins, dessen Corg-Gehalte zur N-Aufnahme keine signifikante Beziehung aufwiesen, ergaben sich zu den anderen Terminen enge Zusammenhänge zwischen Corg-Gehalte und dem N-Entzug der drei Grasschnitte. Die höchsten Korrelationskoeffizienten waren zwischen den EUF-Corg-Gehalten von T₄₈ bis T₁₀₆ und der N-Aufnahme des 2.Schnittes zu finden (T₄₈ $r = 0,71^{***}$; T₇₆ $r = 0,72^{***}$; T₁₀₆ $r = 0,72^{***}$). Zu den N-Gehalten in den Wurzeln wiesen die Corg-Werte der 80°C Fraktion keine signifikante Beziehung auf.

Aufgrund schwacher Zusammenhänge der EUF-Corg-Gehalte der 20°C Fraktion zur N-Aufnahme waren die entsprechenden Beziehungen bei der 20°C+80°C Fraktion weniger deutlich. Es konnten jedoch signifikante Beziehungen zwischen dem Verlauf der Corg-Gehalte von T₄₈ bis zu Versuchsende (T₁₅₅) und der gesamten N-Aufnahme der Pflanzen nachgewiesen werden (T₄₈ $r = 0,46^*$; T₇₆ $r = 0,57^{**}$; T₁₀₆ $r = 0,54^*$; T₁₅₅ $r = 0,65^{**}$).

Über den gesamten Versuchszeitraum konnten keine signifikanten Beziehungen der EUF-Corg-Gehalte zur Netto-N-Mineralisation in den Böden identifiziert werden.

4.16 Beziehungen der fix.-NH₄⁺-Gehalte in den Böden zur N-Aufnahme der Pflanzen und zur Netto-N-Mineralisation während der Versuchsdauer

In Tabelle 45 sind die Korrelationskoeffizienten (r) der fix.-NH₄⁺-Gehalte in den Versuchsböden und ihrer Nettofreisetzung *versus* N-Aufnahme des Weidelgrases und *versus* Netto-N-Mineralisation dargelegt.

Zu keinem Probenahmetermin konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen den fix.-NH₄⁺-Gehalten bzw. ihrer Nettofreisetzung in den Versuchsböden und der N-Aufnahme des

Weidelgrases zu den drei Schnitten festgestellt werden. Man sollte hier berücksichtigen, daß obwohl eine signifikante Abnahme ($p < 0,001$) der fix.-NH₄⁺-Gehalte in den Böden während der Versuchsdauer zu verzeichnen war, korrelierten sie nicht zur N-Aufnahme der Pflanzen, weil ihre Beitrag zum Gesamt-N-Entzug nur etwa 7 % betrug. Außerdem wiesen einige Böden zu Versuchsende eine geringfügige Nettofixierung des Ammoniums auf (Tabelle 28).

Tab. 45: Korrelationskoeffizienten (r) der Fix.-NH₄⁺-Gehalte in den Versuchsböden und ihrer Nettofreisetzung *versus* N-Aufnahme des Weidelgrases und *versus* Netto-N-Mineralisation

Fix.-NH ₄ ⁺ - Verlauf	N-Aufnahme der Pflanzen und Netto-N-Mineralisation					
	1.Schnitt	2.Schnitt	3.Schnitt	Wurzeln-N	Gesamtentzug	Netto-Nmin
	20. Jul T ₇₆	19. Aug T ₁₀₆	07. Okt T ₁₅₅	07. Okt T ₁₅₅	07. Okt T ₁₅₅	07. Okt T ₁₅₅
T ₀	0,12	0,13	0,30	-0,36	0,06	-0,03
T ₄₈	0,13	0,10	0,30	-0,40	0,05	-0,04
T ₁₅₅	---	---	0,28	-0,39	0,03	0,00
Netto- Freisetzung (T ₀ -T ₁₅₅)	0,25	0,35	0,23	0,33	0,30	-0,30

n = 20 Versuchsböden; Die Termine entsprechen der jeweiligen Anzahl an Tagen nach Ansetzen des Gefäßversuches.

Auch waren keinerlei signifikante Zusammenhänge zwischen den ermittelten fix.-NH₄⁺-Gehalten zu allen Probenahmeterminen und der Netto-N-Mineralisation im Boden zu erkennen.

5. Diskussion

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war der Einsatz colorimetrischer Bestimmungsmethoden, um die Erfassung der α -Amino-N-Fraktion direkt in den EUF-Extrakten ohne Anwendung der Hydrolyse zu ermöglichen. Mittels Ninhydrin Methode wurden die α -Aminosäuren in den Bodenextrakten identifiziert und deren Stickstoffgehalte ermittelt. Dabei wurden die gesamten Gehalte der organischen N-Fraktion in den EUF-Extrakten erfaßt. Um die Mineralisierbarkeit der identifizierten organischen N-Verbindungen zu überprüfen, wurde unter Laborinkubationsbedingungen die Stickstoffmineralisation von 13 verschiedenen, unbewachsenen Böden ermittelt und durch Berechnung einfach linearer Regressionen in Beziehung zu den extrahierten organischen N-Verbindungen gesetzt. Es wurden auch bei dem EUF-Routineverfahren Filter mit 100 kDa Porengröße verwendet, um EUF-Extrakte zu erhalten, die höhere Mengen an organischen N-Verbindungen aufweisen könnten. Die Beziehungen der mit größeren Poren erhaltenen EUF-N-Fractionen zur Netto-N-Mineralisation wurden geprüft.

Weiter wurde im Rahmen eines Gefäßversuches mit Weidelgras der Verlauf der EUF-N-Fractionen, des EUF-Corg und des fixierten -NH_4^+ von 20 verschiedenen Böden, sowie der Verlauf der N-Aufnahme der Pflanzen untersucht, um deren Bedeutung für das Potential der Immobilisierung und Mineralisierung des Bodenstickstoffs zu klären. Da neben Quantität und Qualität der organischen Substanz auch die Mineralisierungsbedingungen von Bedeutung sind, wurden auch wichtige Bodenparameter in die Untersuchungen miteinbezogen.

Im folgenden Kapitel soll zunächst die methodische Bestimmung des α -Amino-N in den EUF-Extrakten diskutiert werden. Auch wird die Bestimmung der mit Polysulfon Filtern (100 kDa) erhaltenen EUF-N-Fractionen besprochen.

5.1 Methodische Bestimmung des α -Amino-N in den EUF-Extrakten

Die chemische Natur des mittels EUF extrahierten organischen Stickstoffs war bereits mehrfach Ziel eingehender Untersuchungen (Nemeth et al. 1979, 1986, 1988, Danneberg et al. 1988b, Uischner-Petz u. Neumann 1990, Recke et al. 1990, Hütsch u. Mengel 1990, 1993, Schneider 1995, Mengel et al. 1999). Demnach setzt sich die EUF-Norg Fraktion aus freien Aminosäuren, hydrolysierbaren Aminoverbindungen, aus Aminozuckern und weiteren

noch nicht identifizierten niedermolekularen organischen N-Verbindungen zusammen.

Die molekulare Zusammensetzung der mit verschiedenen Extraktionsmethoden erhaltenen Norg-Fraktion wurde von Danneberg et al. (1988b) untersucht. Hier zeigte sich, daß die Norg-Fraktion im wesentlichen aus Peptiden als Umwandlungsprodukt nativer Zellsubstanz besteht. In den Untersuchungen von Uischner-Peetz u. Neumann (1990) zur Zusammensetzung der EUF-Anodenfraktion konnten diese Ergebnisse bestätigt werden und es zeigte sich darüber hinaus, daß der Anteil freier Aminosäuren an der EUF-Norg-Fraktion nur gering ist. Nemeth et al. (1988) bestimmten die Gehalte an Aminosäure-N in EUF-Extrakten nach saurer Hydrolyse. Sie konnten 23 % bis 55 % des Norg von Ackerböden sowie 41 % bis 46 % des Norg von Waldböden als Aminosäure-N identifizieren. Diese Ergebnisse konnten in den Untersuchungen von Hütsch u. Mengel (1993) an vereinigten EUF-Mehrfachextrakten bestätigt werden, wonach 29 % des EUF-Norg eines Lehmbodens sowie 40 % des EUF-Norg eines Sandbodens in Form von Amino-N (Aminosäuren + Peptide) vorlagen. Recke et al. (1990) untersuchten separat die erste und zweite EUF-Fraktion von Löß und Sandböden. In der ersten Fraktion lagen 27 % bis 65 % und in der zweiten Fraktion 25 % bis 48 % des Norg in Form von Aminosäure-N vor. Die wichtigsten organischen N-haltigen Stoffgruppen, die mittels EUF oder CaCl_2 -Lösung extrahierbar sind sowie deren Bedeutung für die Netto-N-Mineralisation im Boden, wurden von Mengel et al. (1999) im Gefäßversuch ermittelt. Die Stoffgruppe mit höchstem Anteil am N der Extrakte war der Amino-N (Aminosäuren + Peptide). Ihr Anteil betrug im Durchschnitt 60 % des gesamten mit der CaCl_2 -Lösung und 40 % des gesamten mit EUF extrahierten N. Der Anteil an Aminosäuren betrug durchschnittlich 10 % im CaCl_2 -Extrakt und 5,2 % im EUF-Extrakt vom gesamten extrahierten N. Die Anteile an heterocyclischen Basen der Nukleinsäuren beliefen sich im Durchschnitt auf 4,8 % im CaCl_2 - und 3,6 % im EUF-Extrakt. Schneider (1995) bestimmte diese drei N-haltigen Stoffgruppen in EUF-Routineextrakten nach saurer Hydrolyse. Analytisch ist aber die Hydrolyse aufwendig und wenig praktikabel. Darüber hinaus erfolgte die quantitative Aminosäurebestimmung in allen oben genannten Untersuchungen nach chromatographischen Methoden.

Aufgrund dieser umständlichen Analyse wurde in den eigenen Untersuchungen zunächst der Frage nachgegangen, ob eine einfache kolorimetrische Bestimmung der Amino-N-Fraktion (Aminosäuren + Peptide) direkt in den EUF-Extrakten ohne Anwendung der Hydrolyse möglich ist. Bezüglich der kolorimetrischen Bestimmung von Amino-N ohne Hydrolyse in

den EUF-Extrakten liegen keine Hinweise in der Literatur vor.

Nach Vorversuchen (siehe Kapitel 2.1.3.3.3) erfolgte zunächst die quantitative Bestimmung von Peptiden in den EUF-Extrakten nach Bradford (1976). Es zeigte sich, daß die Extinktionen von EUF-Extrakten und Wasser (Blindwert) fast identisch waren. Daraus resultierte, daß die Peptidkonzentrationen in den EUF-Extrakten mit der Bradford Methode nicht nachgewiesen werden konnten. Auch in den eingeeengten EUF-Extrakten konnten keine Peptide mit der Bradford Methode quantifiziert werden. Die α -Aminosäuren konnten jedoch in den eingeeengten EUF-Extrakten mit der Ninhydrin Methode quantitativ erfaßt werden. Sie wurden separat in den EUF-Extrakten der 20°C und 80°C Fraktion bestimmt.

Die α -Amino-N-Konzentrationen in den EUF-Extrakten der 20°C Fraktion betragen im Durchschnitt der 13 untersuchten Böden 0,44 mg N kg⁻¹ Boden. Ihr prozentualer Anteil an EUF-Norg lag durchschnittlich bei 3 % bei einer Variationsbreite von 0,77 % bis 5,97 %. Die EUF-Extrakte der 80°C Fraktion enthielten mit durchschnittlich 0,11 mg N kg⁻¹ Boden deutlich geringere Mengen an α -Amino-N als die Extrakte der 20°C Fraktion. Im Extrakt von Boden 6 konnten sogar keine Aminosäure nachgewiesen werden (Tab. 9). Der durchschnittliche Aminosäureanteil am Norg der 80°C Fraktion lag nur bei 1,91 % bei einer Variationsbreite von 0,00 % bis 3,33 %. Der Gesamtgehalt an α -Amino-N der 20°C+80°C Fraktion betrug durchschnittlich 0,55 mg N kg⁻¹ Boden (Tab. 10). In den EUF-Extrakten der 13 Versuchsböden wurden durchschnittlich 2,66 % des Norg als α -Amino-N erfaßt. Die Variationsbreite des prozentualen Anteils von α -Amino-N an Norg betrug 1,10 % bis 4,73 %. Sowohl bei der 20°C Fraktion als auch bei der 20°C+80°C Fraktion der EUF-Extrakte lagen signifikante Beziehungen ($r = 0,63^*$; bzw. $r = 0,68^{**}$) zwischen den Norg-Konzentrationen und dem ermittelten α -Amino-N vor (Tab. 11). Der Zusammenhang war enger bei der 20°C+80°C Fraktion als bei der 20°C Fraktion. Dies deutet darauf hin, daß mit steigenden Norg-Mengen zunehmende Mengen an Aminosäurestickstoff aus den Böden extrahiert werden. Obwohl der α -Amino-N nur einen geringen Anteil des EUF-Norg ausmachte, wies er signifikante Beziehungen zu den EUF-Norg-Gehalten der Böden auf. Im Gegensatz dazu zeichnete sich bei der 80°C Fraktion keine Beziehung zwischen α -Amino-N und dem EUF-Norg ab. Bei der Betrachtung der statistischen Beziehungen des α -Amino-N der 80°C Fraktion zu anderen Daten ist zu berücksichtigen, daß die extrahierten Mengen an α -Amino-N außerordentlich niedrig waren, so daß keine ausreichende Variationsbreite vorlag (siehe Tab. 9). Aufgrund solcher geringen Konzentrationen konnte vermutlich bei der 80°C Fraktion kein signifikanter Zusammenhang zwischen α -Amino-N und dem EUF-Norg gefunden werden.

Recke et al. (1990) bestimmten säulenchromatographisch die freien Aminosäuren in den EUF-Extrakten. Der Anteil des in Form von freien Aminosäuren gebundenen Stickstoffs an Norg machte bei den untersuchten Böden (Löß- und Sandböden) zwischen 1,4 % und 8,1 % aus. Während jedoch in der 20°C Fraktion im Durchschnitt 4,6 % des Norg in Form freier Aminosäuren (α -Amino-N) vorlag, waren es in der 80°C Fraktion nur 2 %. In den Untersuchungen von Uischner-Peetz und Neumann (1990) zur Zusammensetzung der EUF-Anodenfiltraten verschiedener Bodentypen konnten diese Ergebnisse bestätigt werden. Der Anteil freier Aminosäuren an EUF-Norg war aber geringer. Er lag nur 0,3 % bis 1,3 %. Nemeth et al. (1988) fanden in den EUF-Extrakten der drei verschiedenen Ackerböden und zwei Waldböden etwa 3 % bzw. 8 % des Norg als freie Aminosäuren.

Die Ergebnisse eigener Untersuchungen stimmen mit denen von Nemeth et al. (1988), Recke et al. (1990) sowie Uischner-Peetz u. Neumann (1990) überein. Geringfügige Unterschiede zu dem relativ erfaßten Anteil der Aminosäuren an EUF-Norg sind im Vergleich zu anderen Autoren auf verschiedene Probenaufbereitungen und Bestimmungsmethoden zurückzuführen.

Wichtig ist, daß die direkte colorimetrische Bestimmung des α -Amino-N in den EUF-Extrakten mit der Ninhydrin Methode ohne Anwendung der Hydrolyse einfacher durchzuführen ist als die Bestimmung mittels Chromatographie. Denn bei der direkten Bestimmung treten weniger analysetechnisch bedingte Probleme auf als bei der Quantifizierung des Amino-N in den hydrolysierten EUF-Extrakten. Trotz der relativen Vorzüglichkeit der Ninhydrin Methode ist auch diese mit Nachteilen behaftet. Es erwies sich als nachteilig, daß die erfaßten Konzentrationen an α -Amino-N in den EUF-Extrakten sehr gering waren. Deshalb mußten die EUF- Extrakte eingeeengt werden, was arbeitsaufwendig ist und auch zu Stickstoffverlusten führen kann.

Danneberg et al. (1998b) untersuchten säulenchromatographisch die Norg-Fractionen nach vier Extraktionsverfahren (Heißwasser, Kaltwasser, CaCl_2 -Lösung und EUF) aus dem gleichen Boden. Aus den Ergebnissen wurde abgeleitet, daß die genannten Extraktionsverfahren den selben Norg im Boden erfassen, allerdings im unterschiedlichen Ausmaß. Alle Extrakte außer EUF ergaben zwei Fraktionen: einen Ausschlußpeak und einen Hauptpeak. Der Ausschlußpeak zeigte ein C:N-Verhältniss von etwa 5, der Hauptpeak ein solches zwischen 11 und 16. Die entsprechenden Molekulargewichte waren > 90 kDa (Ausschlußpeak) und im Bereich von ~ 14 kDa (Hauptpeak). Im EUF-Extrakt fehlte der Ausschlußpeak, weil durch die Porengröße der Ultrafilter die Extraktion organischer Verbindungen auf solche mit Molekülgrößen bis 20 kDa begrenzt wird. Untersuchungen von Appel u. Mengel (1993); Mengel et al. (1999) zeigten, daß die CaCl_2 -Norg -Fraktion enger

mit der Netto-N-Mineralisation korrelierte als die EUF-Norg- Fraktion. Diese Feststellung läßt vermuten, daß die organischen N-Verbindungen mit Molekulargewicht > 90 kDa im CaCl_2 -Extrakt von besonderer Bedeutung für die Stickstoffmineralisation sein könnten.

Um die Treffsicherheit der extrahierbaren organischen N-Verbindungen wesentlich zu verbessern, wurde in den vorliegenden Untersuchungen der Frage nachgegangen, ob der α -Amino-N direkt im EUF-Extrakt mit einem Routineverfahren quantitativ bestimmt werden kann. Daher sollten solche Extrakte erreicht werden, die höhere Mengen an Amino-N (Aminosäuren + Proteine) enthalten. Durch die Porengröße der Ultrafilter war die Extraktion organischer Verbindungen auf solche mit Molekülgrößen bis 20 kDa begrenzt. Deshalb wurden bei dem Extraktionsverfahren anstelle von Filtern aus Zellulosetriacetat (MG bis 20 kDa) Polysulfon Filter verwendet, die passierbar für Moleküle mit einem MG bis 100 kDa sind. Bezüglich der Verwendung solcher Filter liegen bisher keine Hinweise aus der Literatur vor.

Es wurde durch Extraktion mit Polysulfon Filtern durchschnittlich 5,9 % ($p < 5$ %) weniger Stickstoff der Norg-Fraktion erfaßt als mit Zellulosetriacetat Filtern, obwohl die Ultrafilter aus Polysulfon 5 fach größere Poren haben als Zellulosetriacetat Filter. Hier zeigt sich, daß für die Menge an filtriertem N weniger die Porengröße als die Gesamtporenfläche von Bedeutung ist.

Während der Elektro-Ultrafiltration wandern die negativ geladenen Tonminerale zur Anode und unterstützt vom Saugdruck, bleiben sie am Anodenfilter haften. Durch diese Tonansammlung wird die Wasserdurchlässigkeit des Anodenfilters herabgesetzt. Mit steigendem Tongehalt des Bodens fließen zur Anode weniger Anionen, bzw. organische Verbindungen (Nemeth 1976). Daher wurden in der vorliegenden Arbeit nach der EUF-Analyse die Ultrafilter untersucht. Es konnte eine größere Anlagerung der Bodentonteilchen am Polysulfon Anodenfilter festgestellt werden als am Zellulosetriacetat Filter. Dieser Befund deutet darauf hin, daß die Stickstoffverbindungen teilweise am Polysulfon Anodenfilter zurückgehalten werden und erklärt, weshalb die Konzentrationen Norg in den "Polysulfon" EUF-Extrakten etwas niedriger lagen. Trotz der unerwartet geringen Norg-Konzentrationen in den "Polysulfon" EUF-Extrakten wurde überprüft, ob die freien α -Aminosäuren direkt in den Extrakten bestimmt werden kann. Die freien α -Aminosäuren konnte jedoch mit der Ninhydrin Methode ohne Einengung der Extrakte quantitativ nicht erfaßt werden. Auf eine Einengung der "Polysulfon" Extrakte wurde weiterhin in der vorliegenden Arbeit verzichtet.

5.2 Zusammenhänge zwischen Stickstoffmineralisierung und EUF-Norg in unbewachsenen Böden

In den meisten Böden liegen große Mengen organisch gebundenen Stickstoffs in der Größenordnung von 1000 - 20.000 kg ha⁻¹ vor (Mengel 1991). Nach Stevenson (1982) besteht dieser Stickstoff zu über 90 % aus organischem Stickstoff. Nur ein geringer Teil dieses organischen Stickstoffs wird im Verlauf eines Jahres oder einer Vegetationsperiode mineralisiert und dadurch pflanzenverfügbar. Nach Newbould (1989) werden von diesen Stickstoffvorräten jährlich nur etwa 1 - 2 % mineralisiert. Die Stickstoffnachlieferung von Böden ist neben der Quantität und Qualität der vorhandenen organischen Substanz von vielen anderen Faktoren abhängig (Franzlübbers et al. 1994). Bodentyp, Kulturpflanze, Zufuhr organischer Substanz, Bodenbearbeitung, Witterungsbedingungen und nicht zuletzt Stickstoffdüngung haben einen entscheidenden Einfluß auf die Netto-N-Mineralisation (Beauchamp et al. 1986; Hecht u. Garz 1980; Lochmann et al. 1989; Nordmeyer u. Richter 1985; Stanford u. Smith 1972).

Organische N-Fractionen, von "milden" Extraktionsmethoden erfaßt, sollen nach Stanford (1982) von den chemischen Methoden am besten geeignet sein, den leicht mineralisierbaren Stickstoff im Boden zu charakterisieren. Die EUF-Methode und die CaCl₂-Extraktion werden zu den milden Extraktionsmethoden gerechnet (Kohl und Werner 1989).

In der vorliegenden Arbeit wurde die Netto-N-Mineralisation von 13 verschiedenen Böden im Inkubationsversuch über 6 Termine (Tag 0, 4, 7, 20, 41 und 61) bestimmt. Die Darstellung des Verlaufes der Netto-N-Mineralisation während der Inkubationsperiode zeigte, daß deutliche, absolute Zunahmen in der Mineralisationsintensität zwischen den einzelnen Probenahmeterminen zu verzeichnen waren (Tabelle 7). Im Durchschnitt über alle 13 Böden waren die höchsten Mineralisationsraten zwischen T₂₀ und T₄₁ zu beobachten (Tab. 8).

Alle organischen N-Fractionen der EUF-Extrakte zeigten am Anfang der Inkubationsperiode keinen Zusammenhang mit der Netto-N-Mineralisation. Im weiteren Verlauf bis zum Termin T₄₁ ließen sich keine signifikanten Beziehungen aufzeigen. Nur zum Zeitpunkt T₄₁ zeigte Norg der 20°C Fraktion einen schwach signifikant positiven Zusammenhang zur Netto-N-Mineralisation ($r = 0,59^*$). Zur mineralisierten Stickstoffmenge des letzten Probenahmetermines ergab sich ein positiver, jedoch nicht signifikanter Koeffizient. Bemerkenswert waren die Korrelationskoeffizienten des Norg der 80°C Fraktion zu den letzten beiden Probenahmeterminen (T₄₁ $r = 0,78^{**}$; T₆₁ $r = 0,75^{**}$). Vom Zeitpunkt T₄₁ an

waren auch für den Norg der 20°C+80°C Fraktion signifikant positive Korrelationen zu verzeichnen (T_{41} $r = 0,67^*$; T_{61} $r = 0,62^*$). Die gefundenen Beziehungen weisen darauf hin, daß die mit EUF extrahierten organischen N-Fractionen, mit zunehmenden Mineralisationsdauer stärker an Bedeutung für die Netto-N-Mineralisation gewinnen. Mit der Mineralisationsdauer nehmen die Mengen an mineralisiertem N zu und damit auch die Unterschiede im Mineralisationsvermögen der einzelnen Böden, was für die Erstellung einer Korrelation essentiell ist. Auch Gutser et al. (1990) und Mengel et al. (1999) stellten mit zunehmenden Versuchsdauer kontinuierlich engere Beziehungen von EUF- und CaCl_2 -Norg zur mineralisierten Stickstoffmenge fest. Sie interpretierten diesen Befund als Hinweis auf einen ursächlichen Zusammenhang zwischen der Norg-Fraktion und dem N-Nachlieferungspotential. Nemeth (1988) vertrat die Meinung, daß durch die EUF-Norg-Fraktion die N-Nachlieferung aus dem nur langsam mineralisierbaren organischen N-Pool des Bodens charakterisiert würde. Zu erwarten gewesen wäre dann allerdings eine enge Beziehung zu dem mittels Kjeldahl erfaßbaren N_t -Gehalt im Boden. Eine solche Korrelation bestand in den eigenen Untersuchungen nicht nur zwischen dem N_t -Gehalt und dem EUF-Norg ($r = 0,92^{***}$), sondern auch zwischen dem C_t -Gehalt und dem EUF-Norg ($r = 0,88^{***}$, Tab. 11). Der Stickstoff der *freien* α -Aminosäuren der EUF-Norg-Fraktion korrelierte aber nur schwach mit dem Gesamt-N und -C der Böden ($r = 0,56^*$; bzw. $r = 0,63^*$). Engere Beziehungen des Gesamt-N zu Aminosäure-N und zu Aminosäure-N in den hydrolysierten EUF- und CaCl_2 -Extrakten wurden von Schneider (1995) gefunden. Dagegen korrelierte der EUF-Norg in den eigenen Untersuchungen enger mit dem Gesamt-N als der mittels EUF- und CaCl_2 - Extraktion analysierte Norg von Schneider (1995). In den von Dalal (1978) untersuchten Bodenhydrolysaten lagen 36 % des Gesamt-N als Proteinstickstoff vor. Er fand auch signifikante Korrelationen zwischen dem Proteinstickstoff und dem Gesamt-N. Nach Untersuchungen von Catroux u. Schnitzer (1987) an einem hydromorphen Ackerboden waren vom gesamten organischen N des Bodens 54% nicht zu identifizieren. 30% waren Aminosäure-N, 4% Aminosäure-N und 12% NH_4^+ -N. Die Menge der verschiedenen N-haltigen Stoffgruppen im Boden steht in keiner Beziehung zur ihrer Funktion als N-Quelle für Mineralisierungsvorgänge. Vielmehr dürfte es so sein, das gerade die Stoffgruppen sich mit der Zeit anreichern, die schwer abgebaut werden, wie z.B. zahlreiche heterozyklische N-Verbindungen. Andererseits reichern sich im Boden Aminosäure nicht an; sie werden schnell abgebaut (Mengel et al 1999) und sind eine wichtige Quelle für die N-Mineralisation. Es ist deshalb nicht zu erwarten, daß der gesamte organische N eines Bodens besonders eng mit der N-Mineralisation korreliert.

Auch in den EUF-Extrakten sowie in Heißwasserextrakten stellt die Peptidfraktion den wesentlichen Anteil der organischen Stickstoffverbindungen dar (Danneberg et al. 1988b; Hütsch u. Mengel 1993; Leinweber et al. 1995). Die Untersuchungen von Mengel et al. (1999) bestätigten diese Ergebnisse und zeigten darüber hinaus, daß es sich auch bei den organischen Stickstoffverbindungen der CaCl₂-Extrakte zu 58 % um Peptidstickstoff handelt. Bezüglich der Mineralisierung von Proteinen ergibt sich der interessante Zusammenhang, daß Enzym und Substrat Proteine und somit von gleicher biochemischer Natur sind (Jenkinson u. Ladd 1981).

Proteine können an die organische Substanz im Boden sorbiert sein und dadurch kann der mikrobielle Angriff erschwert werden (Haider et al. 1965; Martin u. Haider 1971; Piper u. Posner 1972; Sorge et al. 1993). Besonders werden Proteine sehr schnell an die Oberflächen von Tonmineralen sorbiert was ebenfalls zu einer Stabilisierung führen kann (Loll u. Bollag 1983). Von Hütsch und Mengel (1993) wird angenommen, daß der extrahierte EUF-Norg größtenteils an den Bodenkolloiden der Tonfraktion oberflächlich adsorbiert ist. Dies konnte auch durch die vorliegenden Ergebnisse bestätigt werden. Die Korrelationen der Tonfraktion wiesen zu EUF-Norg signifikant positive Beziehungen auf (20°C Fraktion $r = 0,85^{***}$; 80°C Fraktion $r = 0,70^{**}$; 20°C + 80°C Fraktion $r = 0,83^{***}$ Tab.11). Dies bedeutet, daß mit steigendem Tongehalt eines Bodens der Norg im EUF-Extrakt zunimmt und daß tonreiche Böden ein höheres N-Mineralisationsvermögen aufweisen als tonarme. Andererseits wurde zwischen dem Tongehalt und dem α -Amino-N, der hauptsächlich die freien Aminosäuren repräsentiert, kein signifikanter Zusammenhang gefunden.

In den Untersuchungen von Danneberg (1971) wurde ¹⁵N-markierter mineralischer Stickstoff während der Rotte von Maisstroh zunächst in organische Substanz inkorporiert. Von dem anschließend einsetzenden Mineralisationsprozeß war nahezu ausschließlich Proteinstickstoff betroffen. Dies steht im Einklang mit den Untersuchungen von Spitzl und Garz (1974) an langjährig unterschiedlich gedüngten Versuchsfeldern, wonach Stickstoff vorwiegend aus der α -Aminosäure-N-Fraktion remineralisiert wurde. Kassim et al. (1981) untersuchten mittels ¹⁴C-markierter Substanzen die Geschwindigkeit des Abbaus von Aminosäuren und Protein. Sie fanden, daß Protein nach zwölf Wochen bereits zu 70 % umgesetzt war. Der Abbau verschiedener Aminosäuren erfolgte noch weitaus schneller, sie waren nach acht Wochen bereits zu 80 % metabolisiert. Die Autoren führten dieses Ergebnis darauf zurück, daß viele Mikroorganismen den Kohlenstoff und Stickstoff der Aminosäuren für ihre

Energieversorgung und den Aufbau ihrer Körpersubstanz nutzen können. Die Proteine müssen allerdings zunächst von den entsprechenden proteolytischen Enzymen (Peptidasen) in die einzelnen Aminosäuren gespalten werden (Campbell u. Lees 1967). In einem Laborbrutversuch mit einem Acker- und einem Wiesenboden konnte Beck (1983) zeigen, daß sowohl die Biomasse als auch die zellfreie Proteaseaktivität im Boden in sehr enger Beziehung zur Mineralisierungsrate stehen, was den Abbau der Proteine in Aminosäuren sowie die Bedeutung der Proteine für die Stickstoffnachlieferung belegt. Wie Völker und Asmus (1981) anhand der Applikation von Glutamin- und Asparaginsäure zu Boden zeigen konnten, werden Aminosäuren rasch mikrobiell abgebaut und stehen in ihrer Ertragswirksamkeit dem Ammonium kaum nach. Die Untersuchungen von Schneider (1995) im Gefäßversuch zeigten signifikant positive Korrelationen der Aminosäure in den EUF-Extrakte zur Netto-N-Mineralisation der unbewachsenen Variante ohne N-Düngung ($r = 0,64^{**}$). Die Beziehungen der Aminosäuren der CaCl_2 -Extrakte zur N-Nachlieferung waren noch enger ($r = 0,68^{**}$). Die Autorin schloß daraus, daß Polypeptide bzw. Oligopeptide eine leicht mineralisierbare N-Quelle in Böden darstellen. Von allen untersuchten Parametern zeigten die Aminosäuren die engsten Beziehungen zur Netto-N-Mineralisation im Gefäßversuch. Somit kommt dem Proteinstickstoff von allen Bodenfaktoren einschließlich organischen N-haltigen Stoffgruppen die größte Bedeutung für die Stickstoffmineralisation zu. Die schnelle Mineralisierung der aus Protein freigesetzten Aminosäuren erklärt die stets geringen Gehalte an freien Aminosäuren in Böden sowie in den verschiedenen Bodenextrakten (Warman u. Isnor 1991).

Auch die eigenen Ergebnisse belegen die Bedeutung des α -Aminosäure- bzw. Proteinstickstoffs für die Stickstoffmineralisierung. Am Anfang des Inkubationsversuches, wie bei Gesamt-EUF-Norg, wiesen die Gehalte der α -Amino-N-Fractionen keine Zusammenhänge zu den mineralisierten N-Mengen der ersten drei Probenahmeterminen auf. Bis zum Versuchsende konnten auch keine signifikanten Beziehungen zwischen α -Amino-N der 80°C Fraktion und der Netto-N-Mineralisation nachgewiesen werden. Auffällig hoch und deutlich enger als die Beziehung des Norg zur Netto-N-Mineralisation waren die Korrelationskoeffizienten der α -Aminosäuren der 20°C Fraktion sowie 20°C+80°C Fraktion zum Zeitpunkt T_{41} ($r = 0,75^{**}$; bzw. $r = 0,74^{**}$) versus Netto-N-Mineralisation. Diese Beziehungen wurden mit zunehmender Mineralisationsdauer enger und sie wiesen zu Versuchsende (T_{61}) hoch signifikante positive Korrelationskoeffizienten auf (20°C Fraktion $r = 0,83^{***}$; 20°C+80°C Fraktion $r = 0,84^{***}$). Im Vergleich zu den gefundenen Korrelationen

zwischen den Aminosäurekonzentrationen der EUF-Extrakte ($r = 0.64^{**}$) bzw. CaCl_2 -Extrakte ($r = 0,68^{**}$) und der Netto-N-Mineralisation in den Untersuchungen von Schneider (1995) waren die Korrelationskoeffizienten der vorliegenden Arbeit deutlich höher. Diese Koeffizienten beweisen die Bedeutung der Amino-N-Fraktion für die Stickstoffmineralisation in Böden. Man geht davon aus, daß der α -Amino-N neben dem Aminozucker-N den am leichtesten mineralisierbaren organischen Stickstoff des EUF-Norg darstellt (Mengel et al. 1999). Gleichzeitig wird deutlich, daß der zu Versuchsbeginn (T_0) als Protein vorliegende Stickstoff nicht sofort, sondern erst nach etwa 40 Tagen mineralisiert wurde.

Mit der CaCl_2 -Methode werden im Vergleich zur EUF-Methode absolut gesehen geringere Mengen organischer N-Verbindungen erfaßt (Appel u. Steffens 1988). Nach den Ergebnissen von Schneider (1995) war der Anteil an Aminosäuren am CaCl_2 -Norg nach saurer Hydrolyse mit durchschnittlich 58 % jedoch eindeutig höher als in den Extrakten der EUF-Methode mit durchschnittlich 38 %. Die EUF-Norg-Fraktion zeigte zur Netto-N-Mineralisation eine schwach signifikante Korrelation. Demgegenüber waren die Beziehungen des CaCl_2 -Norg zur Netto-N-Mineralisation wesentlich enger. Auch in den Untersuchungen von Appel und Mengel (1993) wies CaCl_2 -Norg engere Beziehungen zur Netto-N-Nachlieferung auf als EUF-Norg. Die engeren Beziehungen des CaCl_2 -Norg zur Netto-N-Mineralisation im Vergleich zum EUF-Norg können vermutlich darauf zurückgeführt werden, daß die mit der CaCl_2 -Methode erfaßten organischen N-Verbindungen zu einem höheren Anteil aus leicht mineralisierbarem Protein-N bestehen. Nach Danneberg et al. (1988b) handelt es sich um eine höhermolekulare N-Fraktion von über 90 kDa, die mit der CaCl_2 -Extraktion, nicht aber mit der EUF-Methode erfaßt wird. Ob dieser Norg-Fraktion eine Bedeutung hinsichtlich der Netto-N-Mineralisation zukommt, ist bisher nicht systematisch untersucht worden. Handelt es sich bei diesen höhermolekularen Verbindungen beispielsweise um Exoenzyme der Mikroorganismen (z.B. Proteasen), so könnte ihre Erfassung als Norg die Aussagekraft der Extraktionsmethode durchaus verbessern.

Ein erster Anhaltspunkt hierfür ergibt sich aus den eigenen Ergebnissen bei dem Extraktionsverfahren mit Ultrafilter aus Polysulfon, die passierbar für Moleküle bis 100 kDa sind. Überraschend wurde durch Extraktion mit Polysulfon Filtern durchschnittlich 5,9 % ($p < 5$ %) weniger organischer-N erfaßt als mit Zellulosetriacetat Filtern. Die Beziehungen der "Polysulfon" Norg-Fractionen zur Netto-N-Mineralisation zeigten am Anfang der Inkubation ein ähnliches Bild wie bei "Zellulosetriacetat" Norg. Sie wiesen keine signifikanten Zusammenhänge zu den mineralisierten N-Mengen der ersten drei Probenahmetermine auf

(Tab.19). Vom Zeitpunkt T_{41} an waren auch für den "Polysulfon" Norg der $20^{\circ}\text{C}+80^{\circ}\text{C}$ Fraktion signifikant positive Korrelationen zu verzeichnen (T_{41} $r = 0,69^{**}$; T_{61} $r = 0,68^{**}$). Der "Zellulosetriacetat" Norg der $20^{\circ}\text{C}+80^{\circ}\text{C}$ Fraktion wies zu den letzten beiden Terminen nur schwach signifikant positive Beziehungen zur Netto-N-Mineralisation auf (T_{41} $r = 0,67^{*}$; T_{61} $r = 0,62^{*}$). Die Korrelationskoeffizienten des "Zellulosetriacetat" Norg ($r = 0,62^{*}$) und "Polysulfon" Norg ($r = 0,66^{*}$) der $20^{\circ}\text{C}+80^{\circ}\text{C}$ Fraktion zur gesamten Netto-N-Mineralisation der Böden [$\Delta N_{\text{min}(T_{61-0})}$] blieben zu Versuchsende auf dem gleichen Signifikanzniveau. Die gefundenen Beziehungen weisen darauf hin, daß die beiden mit verschiedenen EUF-Filtern extrahierten organischen N-Fractionen von Bedeutung für die Charakterisierung der N-Mineralisierung im Boden sein können. Die mit den Polysulfon-Filtern erfaßbaren größeren N-haltigen Moleküle haben aber offenbar keine wesentliche Bedeutung für die Netto N-Mineralisation. Es lag jedoch die Tendenz vor, daß zum späteren Zeitpunkt die Korrelation der Polysulfonfilter zur N-Mineralisation etwas enger war als die der Zellulosetriacetat-filter, ein Befund, der sich damit erklären ließe, daß der Abbau größerer Peptide langsamer verläuft.

Widersprüchliche Ergebnisse ergaben sich aus den Untersuchungen der vorliegenden Arbeit mit 11 Böden aus Belgien, die auf ihre Gehalte an Norg analysiert wurden. Die EUF-Extraktion der Versuchsböden erfolgte sowohl mit Zellulosetriacetat- als auch mit Polysulfon Filtern. Die organischen N-Fractionen (20°C und $20^{\circ}\text{C}+80^{\circ}\text{C}$) der "Zellulosetriacetat" EUF-Extrakte zeigten am Anfang der Inkubation der Böden bis zum Zeitpunkt T_{113} schwach signifikant positive Zusammenhänge zur Netto-N-Mineralisation ($r = 0,71^{*}$; $r = 0,68^{*}$ bzw. $r = 0,66^{*}$; $r = 0,67^{*}$) (Tab. 23). Im weiteren Verlauf bis zum letzten Probenahmetermin ließen sie sich keine signifikante Beziehungen aufzeigen. Dagegen wiesen die Norg-Fractionen (20°C und $20^{\circ}\text{C}+80^{\circ}\text{C}$) der "Polysulfon" EUF-Extrakte am Anfang der Inkubation der Böden (T_{54}) zur Netto-N-Mineralisation keine signifikante Beziehungen auf. Sie zeigten schwach signifikant positive Beziehungen nur zum Zeitpunkt T_{113} ($r = 0,64^{*}$; $r = 0,65^{*}$). Zur mineralisierten Stickstoffmenge des letzten Probenahmetermins (T_{172}) wurde auch ein schwach signifikant positiver Zusammenhang des "Polysulfon" Norg der 20°C Fraktion gefunden ($r = 0,63^{*}$). Über den gesamten Versuchszeitraum konnte keine signifikante Beziehung zwischen dem mit zwei verschiedenen Filtern extrahierten Norg der 80°C Fraktion und der Netto-N-Mineralisation nachgewiesen werden. Zum Zeitpunkt T_{156} ergaben sich negative, jedoch nicht signifikante Korrelationskoeffizienten. Das deckt sich mit dem Befund, daß zu diesem Zeitpunkt einige Böden eine N-Immobilisierung aufwiesen. Damit wird die fehlende signifikant positive Beziehung zwischen Norg und der Netto-N-Mineralisation

verständlich. Auffällig hoch und deutlich enger als die Beziehungen des "Polysulfon" Norg ($r = 0,62^*$) zur gesamten Netto-N-Mineralisation waren die Koeffizienten des "Zelluloseetriacetat" Norg der 20°C Fraktion sowie 20°C+80°C Fraktion zu Versuchsende ($r = 0,86^{***}$; bzw. $r = 0,76^{***}$). Dies deutet darauf hin, daß die mit Zelluloseetriacetat Filtern extrahierten Norg-Fractionen eine höhere Bedeutung für die Charakterisierung der Netto-N-Mineralisation haben als die "Polysulfon" Norg-Fractionen. Das bedeutet, daß es besonders die niedrig molekularen Peptide sind, die als schnelle Quelle der N-Mineralisation fungieren.

Aus den Ergebnissen von deutschen und belgischen Böden wurde abgeleitet, daß mit Polysulfon Filtern im Vergleich zu den Zelluloseetriacetat Filtern keine höheren Konzentrationen an organischen N-Fractionen extrahiert werden konnten. Darüber hinaus zeigten die Beziehungen der Norg-Gehalte in den "Zelluloseetriacetat" EUF-Extrakten zur Netto-N-Mineralisation ein höheres Signifikanzniveau als die Beziehungen des "Polysulfon" Norg. Von höherer Aussagekraft für die Netto-N-Mineralisation war besonders der "Zelluloseetriacetat" α -Amino-N der 20°C Fraktion ($r = 0,74^{**}$) bei den deutschen Böden sowie der "Zelluloseetriacetat" Norg der 20°C Fraktion ($r = 0,86^{***}$) bei den belgischen Böden. Deshalb wurde weiterhin in den Untersuchungen der vorliegenden Arbeit auf die Anwendung der Polysulfon Filter verzichtet. Die Ergebnisse belegen jedoch, daß der Peptidstickstoff die größte Rolle für die N-Nachlieferung spielt.

5.3 Zusammenhänge zwischen dem extrahiertem EUF-N und der N-Mineralisierung sowie der N-Aufnahme der Pflanzen

Für eine effiziente Anwendung der Stickstoffdüngung ist das Potential der Netto-N-Mineralisation im Boden eine wichtige Größe, die bei der Abschätzung der N-Düngermenge berücksichtigt werden sollte. Die Netto-N-Mineralisation ergibt sich aus der Differenz zwischen dem Potential des mineralisierbaren N und dem Potential für die Immobilisierung von mineralischem N. Die Freisetzung von mineralischem N im Boden resultiert aus dem enzymatischen Abbau N-haltiger organischer Substanz. Dieser Umsatz ist von der Aktivität zahlreicher Mikroorganismengruppen abhängig (Beck 1979). Die organischen Verbindungen werden zunächst von Pilzen, später von Bakterien angegriffen (Sowden u. Ivarson 1974). Die Mikroorganismen unterscheiden sich in ihren Ernährungsweisen hinsichtlich Energiequelle, Wasserstoffdonator und Kohlenstoffquelle. Die meisten Bakterien und Pilze im Boden sind chemotroph. Sie gewinnen Energie für ihren Stoffwechsel aus dem Abbau energiereicher

Verbindungen des organischen Materials. Ein wichtiger Bestandteil pflanzlicher Substanz ist Zellulose, die zu Glucose hydrolysiert wird und dann als direktes Substrat für Glycolyse, Tricarbonsäurezyklus und Atmung dient. Im Verlaufe der Glycolyse, besonders aber im Verlaufe der Atmung wird ATP aufgebaut, die praktisch für alle Lebewesen direkt verfügbare Energieform ist. Darüber hinaus werden auch andere Verbindungen, wie die Proteine, schnell mineralisiert und zum Energiegewinn herangezogen (Kassim et al. 1981). Allen heterotrophen Mikroorganismen ist gemeinsam, daß sie zum Aufbau ihrer Körpersubstanz organische Verbindungen als Lieferant für Kohlenstoffskelette benötigen. Darüber hinaus ist Stickstoff für den Aufbau eigener Proteine und anderer N-haltiger Verbindungen der Mikroorganismen erforderlich (Bannick u. Jörgensen 1993). Nach Van Veen et al. (1989) ist der leicht verfügbare Stickstoff eine Voraussetzung für das Wachstum der Mikroorganismen. Dies steht im Einklang mit Ergebnissen von Liljeroth et al. (1990), wonach die Anzahl an Mikroorganismen im Boden bei gleichbleibender ausreichender C-Versorgung unter hoher N-Applikation größer war als bei niedriger N-Düngung.

Mikroorganismen scheiden Exopeptidasen aus, welche im Boden vorliegende Peptide hydrolysieren. Die so entstehenden Aminosäuren können direkt vermutlich mittels H^+ Cotransport von den Mikroorganismen aufgenommen und für den Aufbau eigener N-haltiger Körpersubstanz verwendet werden. Hat der betreffende Mikroorganismus aber genügend eigenen N, kann die Aminosäure auch seiner Energieversorgung dienen. Sie wird dann deaminiert; hierbei entsteht Ammonium, das von den Mikroorganismen ausgeschieden wird. Der Einbau von Aminosäuren in die körpereigene Substanz dient hauptsächlich Wachstum und Vermehrung.

Stickstoff- und Kohlenstoffkreislauf sind somit sehr eng miteinander verknüpft (Franzlübbbers et al. 1994). Das C/N-Verhältnis von Mikroorganismen beträgt etwa 6:1 und streut nur in einem geringen Bereich (Jörgensen et al. 1993; 1994). Hassink et al. (1994) fanden für Bakterien in Abhängigkeit des jeweiligen Bodens C/N-Verhältnisse von 8:1 in Sandböden sowie 5:1 in Lehm Böden. De Ruyter et al. (1993) stellten fest, daß bei gleichem C/N-Verhältnis des Substrates der Abbau von organischem Material durch Bakterien mit weitem C/N-Verhältnis zu einer stärkeren Freisetzung des anorganischen Stickstoffs führt, wogegen die Kohlenstofffreisetzung vom C/N-Verhältnis der Bakterien unbeeinflusst bleibt.

Azam et al. (1993) untersuchten mittels ^{15}N -Markierung die Mineralisation von Pflanzenmaterial mit verschiedenen C/N-Verhältnissen. Sie konnten zeigen, daß aus dem Pflanzenmaterial um so mehr Stickstoff freigesetzt wurde, je enger dessen C/N-Verhältnis war. Substrate mit einem C/N-Verhältnis von 15:1 und 18:1 führten zu einer Immobilisierung

von mineralischem Stickstoff. Das C/N-Verhältnis des Substrates hat einen wesentlichen Einfluß auf die Mineralisation oder Immobilisation von Stickstoff. Die Freisetzung oder Immobilisierung von mineralischen Stickstoff beim Abbau des organischen Materials ist sowohl vom C/N-Verhältnis des Substrates als auch von dem C/N-Verhältnis der abbauenden Mikroorganismen abhängig (Hassink et al. 1994). Ein weites C/N in der bakteriellen Biomasse bedeutet, daß viel organischer Kohlenstoff gespeichert vorliegt, sodaß beim mikrobiellen Abbau vermehrt anorganischer N assimiliert wird (Immobilisation).

Eine Umsetzung des organischen Materials führt zum Aufbau von Biomasse (Kaiser 1994). Da ein Teil des Stickstoffs aus dem organischen Material zum Aufbau der Biomasse verwendet wird, kann nicht der gesamte Stickstoff des Substrates mineralisiert und freigesetzt werden, ein Teil wird stets immobilisiert (Ke u. Mengel 1990; Rees et al. 1993). In der Biomasse wird sowohl Stickstoff als auch Kohlenstoff vorübergehend gespeichert (Beer u. Freytag 1982). Diese Biomasse selbst stellt aufgrund ihrer Bestandteile wieder eine leicht mineralisierbare Stickstoffquelle dar (Beck 1985), wobei im wesentlichen die abgestorbene Biomasse mineralisiert wird (Sparling u. Ross 1988). Schnürer und Rosswall (1987) untersuchten mittels ^{15}N -Markierung die Mineralisierbarkeit von Pilzen und Bakterien sowie die Aufnahme des mineralisierten Stickstoffs durch Gerstenpflanzen. Nach 76 Tagen waren bereits 29 % des Stickstoffs aus Pilzhyphen sowie 10 % des Stickstoffs aus Bakterien von den Pflanzen aufgenommen worden. Bei dem in die Biomasse inkorporierten Stickstoff handelt es sich daher nur um eine vorübergehende Immobilisation, er kann während der darauffolgenden Vegetationsperiode wieder remineralisiert werden (Cortez 1989; Paul 1994).

Da Mineralisation und Immobilisation von Stickstoff im Boden gleichzeitig ablaufen und mit normalen Bodenuntersuchungsmethoden nicht getrennt erfaßt werden können (Beck 1983), interessiert aus pflanzenbaulicher Sicht die sogenannte Netto-N-Mineralisation, welche sich aus der Differenz der beide Größen errechnet (Mengel 1991b). Die Komplexität der oben beschriebenen Prozesse läßt es verständlich erscheinen, daß sich die Erfassung des potentiell nachlieferbaren Stickstoffs schwierig gestaltet und bis heute noch keine allgemein anerkannte Methode zur Erfassung dieser Fraktion existiert. Die bestehenden Methoden lassen sich in Inkubations- und Extraktionsmethoden zusammenfassen. Von den Extraktionsmethoden sind vor allem die Nmin-Methode (Wehrmann u. Scharpf 1979), die CaCl_2 -Methode (Houba et al. 1986) und die EUF-Methode (Nemeth et al. 1979) verbreitet. Für die landwirtschaftliche Praxis gewann in den letzten Jahren die Elektro-Ultrafiltrationsmethode (EUF) an Bedeutung. Sie ist praktisch die einzige Methode, mit der heute im Routineverfahren die Verfügbarkeit von organischem Stickstoff im Boden bestimmt und in der Düngerbedarfsprognose

berücksichtigt wird (Mengel 1991c). In zahlreichen Brut- und Gefäßversuchen konnte gezeigt werden, daß die EUF-Norg-Fraktion ein brauchbarer Parameter ist, um das N-Nachlieferungspotential von Böden zu charakterisieren. Als ein Maßstab zur Quantifizierung der N-Nachlieferung dient die Beziehung zwischen der Norg-Fraktion und der N-Aufnahme der Pflanzen auf ungedüngten Böden, oder aber die Beziehung des Norg *versus* N-Mineralisierungspotential im Brutversuch oder auf Bracheparzellen. Appel und Steffens (1988) fanden eine hoch signifikante Korrelation zwischen der Norg-Fraktion extrahiert mit 0,01 M CaCl₂ oder EUF und der N-Aufnahme im Gefäßversuch. Dieser Befund steht im Widerspruch zu den Untersuchungen von Gutser et al. (1990) die zeigten, daß die EUF-Norg-Fraktion keinen wesentlichen Informationsgewinn erbrachte, um die N-Nachlieferung in einem Erschöpfungsversuch mit Hafer und Weidelgras zu bestimmen. Sie begründeten ihre Aussage damit, daß die N-Aufnahme der Pflanzen mit dem Nitratgehalt der Böden korrelierte ($r = 0,85^{***}$) und daß sich diese Korrelation durch Einbeziehung von Norg nur auf $r = 0,89^{***}$ verbesserte. Signifikante Beziehungen zwischen EUF-Norg und dem mineralisierbaren Stickstoff wurden auch in den Untersuchungen von Kohl und Werner (1988), Appel und Mengel 1990, 1993; Mengel und Hütsch 1993 sowie Schneider (1995) gefunden. Mengel et al. (1999) fanden im Gefäßversuch mit Weidelgras, daß die Mengen an netto-mineralisiertem N für den selben Boden sehr unterschiedlich sein können und beachtlich davon abhängen, ob der Boden unbewachsen oder bewachsen ist. Die Netto-N-Mineralisation war viel höher in den unbewachsenen Böden als in den bewachsenen. Die Autoren schlossen aus ihren Ergebnissen, daß die N-Immobilisierung abhängig vom Nitrat und von dem verfügbaren organischen Kohlenstoff ist, der in den bewachsenen Böden hauptsächlich auf die Wurzelausscheidung von organischem C zurückgehen dürfte.

Deshalb wurde in der vorliegenden Arbeit die Netto-N-Mineralisation von zwanzig verschiedenen Böden im Gefäßversuch mit Weidelgras bestimmt. Es wurde untersucht, ob der mittels EUF extrahierte organische Kohlenstoff mit der Immobilisation von Nitrat zusammenhängt. Außerdem wurden die Beziehungen zwischen dem EUF extrahierten N (mineralischen N, organischen N = Norg) und der N-Aufnahme des Grases untersucht. In den Untersuchungen wurde auch das nicht austauschbare Ammonium (Zwischenschicht NH₄⁺ der Tonminerale) eingeschlossen, weil es im Laufe einer Vegetationsperiode von der Pflanze genutzt werden kann (Scherer 1993).

Es lagen im wesentlichen zwei Pools an Bodenstickstoff vor, aus denen die Pflanzen den N entnahmen: Nitrat und organischer N (Abb. 7). Von Tag 0 bis zur Aussaat (T₄₈) wurde eine

signifikante Steigerung an EUF-extrahierbarem Nitrat festgestellt, gefolgt von einem steilen Abfall während der Wachstumsperiode des Grases bis zum 1. Schnitt (T₇₆).

Die N-Aufnahme der Pflanzen zum 1. Schnitt korrelierte sehr eng mit der Nitrat-Konzentration im Boden zur Aussaat ($r=0,96^{***}$), d.h., daß das Gras des 1. Schnittes praktisch nur vom Nitrat ernährt wurde. Auffallend ist, daß der Nitratabfall von der Aussaat bis zum 1. Schnitt etwa doppel so hoch war wie die N-Aufnahme des 1. Schnittes. Der Befund zeigt somit, daß auch eine Nitrat-Immobilisierung während dieser Periode erfolgte. Diese Immobilisierung, die aus der Differenz zwischen Nitratabnahme bis zum 1. Schnitt und N-Aufnahme des Grases errechnet wurde, korrelierte schwach mit EUF-Corg ($r=0,50^*$), d.h., daß die N-Immobilisierung (mikrobiologische N-Assimilation) von der Menge an Nitrat und verfügbarem organischen Kohlenstoff abhängig ist. Da in der ersten unbewachsenen Phase keine apparente N-Immobilisierung erfolgte, darf zurecht gefolgert werden, daß die Mikroorganismen zur N-Immobilisierung hauptsächlich den von der Wurzel stammenden organischen C nutzten. Demnach dürfte die Immobilisierung hauptsächlich in der Rhizosphäre erfolgt sein.

Zum Zeitpunkt des 1. Schnittes waren die NH_4^+ - und NO_3^- -Konzentrationen im Boden weitgehend erschöpft, d.h. sehr niedrig und blieben auf diesem niedrigen Niveau bis zum Versuchsende (T₁₅₅). Deshalb war praktisch Norg die N-Quelle für das Gras zum 2. u. 3. Schnitt. Signifikante Korrelationen wurden zwischen EUF-Norg und N-Aufnahme der Pflanzen zum 2. u. 3. Schnitt gefunden (bzw. $r=66^{**}$ bzw. $r=0,55^*$). In dieser Phase dürfte der mineralisierte N des Norg-Pools sofort von den Wurzeln in Form von NH_4^+ und nicht als NO_3^- aufgenommen worden sein, zumal NH_4^+ gegenüber NO_3^- bevorzugt aufgenommen wird (Rroco u. Mengel 2000). Eine apparente N-Immobilisierung erfolgte in dieser Phase nicht, da die NH_4^+ - und NO_3^- -Konzentrationen im Boden in dieser Phase praktisch bei Null lagen (Abb. 7). Signifikante Veränderungen von Norg wurden von der Aussaat (T₄₈) bis zum 3. Schnitt (T₁₅₅) gefunden, zuerst ein Abfall, dann eine Steigerung. Vermutlich gehört der extrahierte EUF-Norg einem Pool an, der durch Influx und Efflux von organischem N im Boden charakterisiert ist (Appel u. Xu 1995, Mengel et al. 1999).

Der Befund, daß bei der 1. Phase des Graswachstums das Nitrat und später der organische Stickstoff die wichtigsten N-Quellen für die N-Aufnahme der Pflanzen waren, dürfte auch für die Bedingungen im Freiland gelten. Gutser und Teicher (1976) fanden in Feldversuchen mit Winterweizen, daß Nitrat und Ammonium im Frühling nach der N-Düngung die Haupt-N-Quellen sind. Diese waren aber mit Beginn der Schossphase weitgehend erschöpft. Falls keine weitere N-Düngung erfolgt, nimmt dann die Pflanze hauptsächlich den benötigten N aus dem

Norg-Pool auf, zumal in dieser späteren Phase auch günstige Bedingungen, wie erhöhte Temperatur, die Mineralisierung des organischen Stickstoffs begünstigen. Diese Situation wird auch beim Gießener Modell zur Abschätzung der N-Düngung bei Getreide berücksichtigt (Barekzai et al., 1992). Hier wird EUF-Nitrat für die Berechnung der 1. N-Gabe und EUF-Norg für die 2. und 3. N-Gabe berücksichtigt.

Die nach der Formel ($\text{Netto-N}_{\text{min}} = \{N\text{-Pflanze} + N_{\text{min}} + \text{fix.}-\text{NH}_4^+\}_{\text{Versuchsende}} - \{N\text{ Dünger} + N_{\text{min}} + \text{fix.}-\text{NH}_4^+\}_{\text{Versuchsbeginn}}$) berechnete Netto-N-Mineralisierung korrelierte nicht mit dem EUF-Norg. Diese mangelnde Korrelation ist dadurch bedingt, daß die Varianz für die N-Aufnahme der Pflanze und auch die des Nitrats im Boden in der 1. Phase des Versuches für die Netto-N-Mineralisation die dominierenden Faktoren waren. Für die 2. Phase des Versuches waren aber die Korrelationen zwischen EUF-Norg *versus* N-Aufnahme signifikant. In den eigenen Untersuchungen wurde zum ersten Mal auch das nicht austauschbare Ammonium in der Formel zur Berechnung der Netto-N-Mineralisation einbezogen. Es wurde auch hier wegen geringen Netto-Aufnahme an fixiertem NH_4^+ keine signifikante Beziehung der Netto-N-Mineralisation *versus* $\text{fix.}-\text{NH}_4^+$ gefunden. Das $\text{fix.}-\text{NH}_4^+$ korrelierte auch nicht mit der Gesamt-N-Aufnahme der Pflanze. Es nahm aber signifikant ($p < 0,001^{***}$; Tab. 28) von der Aussaat bis zum Ende des Versuches ab. Es trug wahrscheinlich geringfügig mit etwa 7 % zur Gesamt-N-Aufnahme der Pflanze bei.

Auf Grund der signifikanten Korrelationen zwischen den EUF-N-Fractionen zu Versuchsbeginn und der kumulativen N-Aufnahme der Pflanzen dürften EUF- NH_4^+ ($r=0,711^{***}$), EUF- NO_3^- ($r=0,882^{***}$) sowie EUF-Norg ($r=0,734^{***}$) die N-Verfügbarkeit indizieren. Korrelationen sind ein wichtiges Hilfsmittel zur Auffindung von Zusammenhängen. Es sei jedoch darauf verwiesen, daß die Korrelation lediglich reflektiert, inwieweit die jeweilige Varianz der Einzeldaten zweier Variablen, z.B. EUF-Norg und N-Aufnahme der Pflanze, sich entsprechen. Korrelationen sagen an sich nur wenig über den kausalen Zusammenhang der beiden Variablen aus. In o.a. Beispiel ist dieser Zusammenhang gegeben. Der im EUF-Norg vorhandene Amino-N wird nach Aufnahme durch Mikroorganismen zu NH_3 umgewandelt, dann als NH_3 ausgeschieden und anschließend von der Pflanze aufgenommen oder von anderen Mikroorganismen zu Nitrat oxidiert. Hier liegt also eine Kausalkette vor, an deren Ende zwei N-Formen stehen, die direkt von der Pflanze aufgenommen werden können, nämlich NH_4^+ und NO_3^- . Der Amino-N wird also nicht direkt von der Pflanze aufgenommen, er kann zu NH_3 mikrobiell umgewandelt werden, er kann aber auch als Baustein für Aminosäuren für den betreffenden Mikroorganismus dienen. Das mag

der Grund dafür sein, daß in vielen Fällen Nitrat eine engere Korrelation zur N-Aufnahme der Pflanze aufweist als EUF-Norg, wie auch von Paul (1994) in Feldversuchen festgestellt wurde. Pauls Versuchsergebnisse zeigen aber auch noch einen anderen interessanten Befund. Nach der Einarbeitung von Rübenblatt in den Boden zeigte sich im Verlaufe von mehreren Monaten eine deutliche Erhöhung von EUF-Nitrat im Boden im Vergleich zur Variante ohne Rübenblattdüngung. Für EUF-NH₄⁺ war aber keine durch Rübenblattdüngung hervorgerufene Veränderung gegeben. Die Konzentrationen des EUF-NH₄⁺ lagen auf einem niedrigen Niveau von etwa 2 mg N kg⁻¹ Boden unabhängig von der Rübenblattdüngung. Deshalb konnte für EUF-NH₄⁺ und N-Aufnahme keine signifikante Beziehung gefunden werden. Dennoch ist unbestreitbar, daß der mineralisierte NH₄⁺ direkt oder indirekt der Pflanze als Nahrung diene, nur war sein Umsatz - Aufnahme durch die Pflanze und/oder Nitrifikation - so schnell, daß es zu keiner NH₄⁺- Anreicherung kam. Auch für EUF-Norg trifft eine solcher Umsatz in abgeschwächtem Maße zu wie die Abb. 7 zeigt. EUF-Norg repräsentiert einen N-Pool, in den N hinein- und heraus fließt. Auch aus diesem Grunde kann für EUF-Norg versus N-Aufnahme der Pflanze keine so enge Korrelation erwartet werden wie für EUF-Nitrat. Wenn dennoch für EUF-Norg zur N-Aufnahme der Pflanze signifikante Beziehungen gefunden wurden, spricht das für die besondere Bedeutung dieser Fraktion für die N-Mineralisation im Boden.

Aus den Ergebnissen vorliegender Untersuchungen im Gefäßversuch wird geschlossen, daß die mikrobiologische Assimilation des anorganischen Stickstoffs (= Immobilisierung) im Boden von der Anwesenheit des anorganischen N, hauptsächlich Nitrat, und von der Versorgung der Mikroorganismen mit verfügbarem organischen Kohlenstoff abhängig ist. Der EUF extrahierbare organische N und in geringerem Maße auch der EUF extrahierbare organische C sind zuverlässige Indikatoren für die Abschätzung der Netto-N-Mineralisation im Boden.

Es sollte an dieser Stelle nicht unerwähnt bleiben, daß die in der vorliegenden Arbeit erhaltenen Ergebnisse in einem Gefäßversuch erzielt wurden. Da der mineralisierbare Stickstoff von vielfältigen Faktoren wie Temperatur, Niederschlag, Pflanzenkultur Ernterückständen, Bodentyp Bodenfeuchtigkeit und Bodenbearbeitungsmaßnahmen wesentlich beeinflusst wird, sollten diese Ergebnisse unter Feldbedingungen überprüft werden.

6. **Schlußfolgerungen**

Die Untersuchungen haben die Befunde anderer Autoren bestätigt, daß der Amino-N im Boden die wichtigste Fraktion für die N-Mineralisierung darstellt. Mit der EUF-Extraktion wird neben anderen Stoffgruppen diese Aminofraktion erfaßt. Hiermit ist begründet, daß die EUF-Norg Fraktion geeignet ist, die Menge an mineralisierbarem N im Boden mit gewissen Schwankungen zu erfassen. Die Prognose für die N-Mineralisation wird jedoch wesentlich genauer, wenn man sie nur auf den Aminosäuregehalt der EUF- Extrakte gründet. Die Aminosäurekonzentrationen in diesen Extrakten sind jedoch so niedrig, daß sie mit den herkömmlichen gängigen Routineverfahren nicht quantitativ erfaßt werden können. Hier besteht noch Forschungsbedarf auf dem Gebiete der analytischen Chemie.

Die Untersuchungen haben unseres Wissens zum ersten Mal ein Routineverfahren aufgezeigt, mit dem auch der für die Netto-N-Mineralisation sehr wichtige organische C erfaßt werden kann, nämlich der EUF-Corg. Die gefundene schwach signifikante negative Korrelation zwischen Netto-N-Mineralisierung und EUF-Corg ist noch unbefriedigend. Auch hier stellt sich in Analogie zum EUF-Norg die Frage, welche Stoffgruppen im EUF-Corg vorkommen. Die Vermutung, daß besonders Wurzelausscheidungen als C-Quelle dienen, bedarf noch weiterer experimenteller Untersuchungen. Insbesondere könnte hier der Wurzelschleim (Mucilage) von Bedeutung sein. Er besteht hauptsächlich aus einem Polysaccharid mit Galactose, Fucose und Uronsäuren als die hauptsächlichsten Monomere (Paul et al. 1975). Diese werden von der Pflanze nur schwerlich aufgenommen, stehen also vornehmlich den Mikroorganismen als Nahrung zur Verfügung. Wie aus Untersuchungen von Mary et al. (1993) hervorgeht, ist der Wurzelschleim eine wichtige C-Quelle für die Assimilation von anorganischem Stickstoff.

7. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit umfaßt einen methodisch-analytischen Teil und einen ernährungsphysiologischen Teil. Der methodisch-analytische Teil hatte zum Ziel, die Bestimmung des Amino-N in den extrahierten EUF- Proben zu vereinfachen, sodaß sie auch für Routineanalysen eingesetzt werden kann. Untersuchungen von Mengel et al.(1999) hatten gezeigt, daß von den verschiedenen N-haltigen Verbindungen des mittels Elektroultrafiltration (EUF) gewonnenem organischen N der Amino-N die engste Korrelation zur N-Aufnahme der Pflanze aufweist. Es wurde deshalb angenommen, daß der Peptid-N des Bodens die wichtigste Quelle für die N-Mineralisation darstellt. Diesen Peptid-N mit einem relativ einfachen Verfahren quantitativ zu erfassen, würde einen beachtlichen Fortschritt in der Routineanalyse von verfügbarem Bodenstickstoff, hier besonders für die EUF-Extraktion, darstellen.

Nach Vorversuchen erfolgte zunächst die quantitative Bestimmung von Protein in den EUF-Extrakten nach Bradford. Diese Methode wird für die Proteinbestimmung in biologischem Material verwendet. Es zeigte sich jedoch, daß dieses Verfahren für die Bestimmung von Amino-N ungeeignet ist und zwar aus zwei Gründen, einmal sind die Konzentrationen an Amino-N in den hier vorliegenden EUF-Extrakten sehr niedrig und zweitens handelt es sich bei den Amino-Verbindungen in den EUF-Extrakten in der Hauptsache nicht um Proteine, sondern um niedrig-molekulare N-Verbindungen (< 20kDa), die mit der Bradford-Methode nicht erfaßt werden.

In einem weiteren Ansatz wurde versucht, die in den EUF-Extrakten vorliegenden Aminosäuren direkt mit Ninhydrin zu bestimmen (α -Amino-N Fraktion) ohne den Extrakt vorher zu hydrolysieren. Die α -Amino-N-Konzentrationen in den EUF-Extrakten der 20°C Fraktion betragen im Durchschnitt der 13 untersuchten Böden 0,44 mg N kg⁻¹ Boden. Ihr prozentualer Anteil am EUF-Norg lag durchschnittlich bei 3 % bei einer Variationsbreite von 0,77 % bis 5,97 %. Die EUF-Extrakte der 80°C Fraktion enthielten mit durchschnittlich 0,11 mg N kg⁻¹ Boden deutlich geringere Mengen an α -Amino-N als die Extrakte der 20°C Fraktion. Der durchschnittliche α -Amino-N-Anteil am EUF-Norg der 80°C Fraktion lag nur bei 1,91 % bei einer Variationsbreite von 0,00 % bis 3,33 %. Der Gesamtgehalt an α -Amino-N der 20°C+80°C Fraktion betrug durchschnittlich 0,55 mg N kg⁻¹ Boden.

Die in den 13 Böden analysierten Konzentrationen an löslichem α Amino-N wurden in einem Inkubationsversuch auf ihre Bedeutung für die N-Mineralisation untersucht. Im Verlaufe der

Inkubation nahm die Netto-N-Mineralisation zu. Im Durchschnitt über alle 13 Böden waren die höchsten Mineralisationsraten zwischen dem 20. (=T₂₀) und 41. Tag (=T₄₁) zu verzeichnen. Alle organischen N-Fractionen der EUF-Extrakte (Norg-20°C, Norg-80°C, Norg 20+80°C, α -Amino-N der 20 und 80°C Fraktion) zeigten am Anfang der Inkubation keinen signifikanten Zusammenhang zur Netto-N-Mineralisation. Bis zum Versuchsende konnten auch keine signifikanten Beziehungen zwischen EUF- α -Amino-N der 80°C Fraktion und der Netto-N-Mineralisation nachgewiesen werden. Auffällig hoch und deutlich enger als die Beziehung des EUF-Norg zur Netto-N-Mineralisation waren die Korrelationskoeffizienten des EUF- α -Amino-N der 20°C Fraktion sowie der 20°C+80°C Fraktion zum Zeitpunkt T₄₁ ($r = 0,75^{**}$; bzw. $r = 0,74^{**}$) *versus* Netto-N-Mineralisation, wobei die α -Amino-20°C Fraktion der entscheidende Parameter war. Diese Beziehungen wurden mit zunehmender Mineralisationsdauer enger und wiesen zu Versuchsende (T₆₁) hoch signifikante, positive Korrelationskoeffizienten auf (20°C Fraktion $r = 0,83^{***}$; 20°C+80°C Fraktion $r = 0,84^{***}$), was einem Bestimmtheitsmaß von etwa 0,70 entspricht. Damit wird deutlich, daß der in den EUF Extrakten vorliegende lösliche α -Amino N ein besserer Indikator der N-Mineralisation ist als der EUF-Norg (20°C), der nur eine schwach signifikante Beziehung zur Netto-N-Mineralisation zeigte, während der EUF-Norg (80°C) zum letzten Termin (T₆₁) signifikant mit der Netto-N-Mineralisation ($r = 0,75^{**}$) korrelierte. Aufgrund dieser Befunde wird mit dem EUF- α -Amino-N die Netto-N-Mineralisation genauer erfassen als mit den anderen EUF-Norg Fraktionen. Der Nachteil der Bestimmung des α -Amino-N in den EUF-Extrakten besteht jedoch darin, daß die hier vorliegenden α -Amino-N Konzentrationen sehr niedrig sind. Deshalb müssen die Extrakte vor der Analyse eingengt werden, was für eine Routineanalyse umständlich und deshalb wenig praktikabel ist.

Daher wurde untersucht, ob mit Polysulfon-Filtern eine höhere Menge an EUF-Norg extrahiert wird als mit den gebräuchlichen Zellulosetriacetat-Filtern. Letztere lassen Moleküle von einer Größe < 20kDa passieren, während Polysulfon-Fiter für Moleküle < 100 kDa permeabel sind. Ihre Porengröße ist etwa fünf Fach höher als die der Zellulosetriacetat-Filter. Interessanterweise wurden mit den Polysulfon-Filtern durchschnittlich 5,9 % weniger Stickstoff in der Norg-Fraktion erfaßt als mit den Zellulosetriacetat Filtern. Die α -Amino-N-Fraktion der "Polysulfon-Extrakte" konnte ebenfalls mit der Ninhydrin Methode ohne Einengung der Extrakte quantitativ nicht erfaßt werden. Die Beziehungen der "Polysulfon" Norg-Fractionen zur Netto-N-Mineralisation zeigten am Anfang der Inkubation ein ähnliches Bild wie bei "Zellulosetriacetat" Norg. Sie wiesen keine signifikanten Zusammenhänge zu den mineralisierten N-Mengen der ersten drei Probenahmetermine auf. Die

Korrelationskoeffizienten des "Zellulosetriacetat" Norg ($r = 0,62^*$) und "Polysulfon" Norg ($r = 0,66^*$) der $20^\circ\text{C}+80^\circ\text{C}$ Fraktion zur gesamten Netto-N-Mineralisation der Böden blieben zu Versuchsende (T_{61}) auf dem gleichen Signifikanzniveau. In den 11 untersuchten Böden aus Belgien war zum letzten Termin (T_{172}) bei den Polysulfon-Filtern nur die EUF-Norg 20°C Fraktion mit der Netto-N-Mineralisation schwach korreliert ($r = 0,62^*$). Bei den Zellulosetriacetat-Filtern korrelierte dagegen die EUF-Norg 20°C Fraktion mit $r = 0,86^{***}$ und die EUF-Norg $20 + 80^\circ\text{C}$ Fraktion mit $r = 0,76^{***}$ hoch signifikant mit der Netto-N-Mineralisation. Die Verwendung von Polysulfon-Filtern stellt also gegenüber den Zellulosetriacetat-Filtern eher einen Nachteil als einen Vorteil dar.

Der ernährungsphysiologische Teil der Thesis umfaßt zwei Inkubationsversuche und einen Gefäßversuch. Hierbei wurden im wesentlichen die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen EUF-Norg Fraktionen und der Netto-N-Mineralisation untersucht. Die Inkubation erfolgte im Brutschrank bei 25°C und einer Bodenfeuchte von $50 \text{ g H}_2\text{O}/100 \text{ g}$ Boden. Die Bodenfeuchte wurde während der Inkubationsdauer konstant gehalten. Die Böden waren typische Ackerböden und entstammten der Bodenkrume. Die 13 Böden des 1. Inkubationsversuches waren von typischen Ackerböden aus der Umgebung von Gießen. Es waren die gleichen Böden, die auch für die Korrelationen zwischen dem α -Amino-N und der Netto-N-Mineralisation verwendet wurden (siehe oben). Nach 41 Tagen (T_{41}) Inkubationsdauer zeigten sich signifikante Beziehungen zwischen dem EUF-Norg und der Netto-N-Mineralisation mit $r = 0,59^*$ für EUF-Norg 20°C , $r = 0,78^{**}$ für EUF-Norg 80°C und $r = 0,67^*$ für EUF-Norg $20 + 80^\circ\text{C}$. Bei Versuchsende (T_{61}) betragen die entsprechenden Korrelationskoeffizienten $r = 0,76^{**}$ für EUF-Norg 80°C , $r = 0,53$ für EUF-Norg 20°C (nicht signifikant) und $r = 0,62^*$ für die EUF-Norg $20 + 80^\circ\text{C}$. Hiermit zeigt sich, dass zumindest in diesem Versuch die Fraktion EUF-Norg 80°C im Vergleich zur EUF-Norg 20°C der bessere Indikator für die Netto-N-Mineralisation war.

EUF-Norg 20°C und EUF-Norg 80°C korrelierten hoch signifikant mit dem Ct und dem Nt der Böden und signifikant bis hoch signifikant mit deren Tongehalt. Das C/N -Verhältnis der Böden stand in einer negativen Beziehung zu Netto-N-Mineralisation (EUF-Norg 20°C , $r = -0,73^{**}$ und EUF-Norg 80°C , $r = -0,54$, nicht signifikant), was bedeutet, daß mit dem höheren C-Anteil die Netto-N-Mineralisation abnahm.

Der 2. Inkubationsversuch wurde mit Böden, die aus den Versuchsfeldern der Universität Gent in Belgien stammten, durchgeführt. Es handelte sich um die gleichen Böden, mit denen auch die Untersuchungen mit den Polysulfon-Filtern durchgeführt wurden. Die Inkubationsdauer betrug 172 Tage. Erst zum letzten Termin zeigten sich deutlichere,

signifikante Beziehungen zwischen den EUF-Norg-Fractionen und der Netto-N-Mineralisation: für EUF-Norg 20°C, $r = 0,86^{***}$, für EUF-Norg 80°C, $r = 0,36$ (nicht signifikant) und für EUF-Norg 20 + 80°C, $r = 0,76^{***}$. Es sei darauf verwiesen, daß hier im Gegensatz zum 1. Inkubationsversuch die EUF-Norg 20°C Fraktion der bessere Indikator für die Netto-N-Mineralisation war.

Der Gefäßversuch wurde mit 20 verschiedenen Böden in Mitscherlichgefäßen durchgeführt. Die Versuchsstandorte wurden aus den Versuchsfeldern im Zuckerrübenbaugbiet der Süddeutschen Zucker AG herangezogen. Es handelte sich um Ackerkrume (0-30 cm) verschiedener Bodentypen, jedoch waren sie größtenteils Löß-Parabraunerden.

Es wurde von April bis Oktober 1998 bei Bepflanzung der Böden mit Weidelgras der Verlauf der EUF-N-Fractionen, des EUF-Corg und des fixierten-NH₄⁺ sowie der Verlauf der N-Aufnahme der Pflanzen untersucht. Hier wurde unseres Wissens zum ersten Mal eine organische C Fraktion, nämlich der EUF extrahierbare organische Kohlenstoff des Bodens (= EUF-Corg), auf seine Bedeutung für die Netto-N-Mineralisation untersucht.

Die N-Aufnahme der Pflanzen im Gefäßversuch zeigte, daß zur N-Ernährung der Pflanzen im wesentlichen zwei Pools an Bodenstickstoff vorlagen: Nitrat und organischer N. Vom Tag 0 bis zur Aussaat (T₄₈) wurde eine signifikante Steigerung an EUF-extrahierbarem Nitrat festgestellt, gefolgt von einem steilen Abfall der EUF-Nitrat-Konzentration im Boden während der Wachstumsperiode des Grases bis zum 1. Schnitt (T₇₆). Die N-Aufnahme der Pflanzen zum 1. Schnitt korrelierte sehr eng mit der EUF-Nitrat-Konzentration im Boden zur Aussaat ($r=0,96^{***}$), d.h., daß das Gras des 1. Schnittes praktisch nur vom Nitrat ernährt wurde. Auffallend ist, daß der Nitratabfall von der Aussaat bis zum 1. Schnitt etwa doppelt so hoch war wie die N-Aufnahme des 1. Schnittes. Der Befund zeigt somit, daß auch eine Nitrat-Immobilisierung während dieser Periode erfolgte. Diese Immobilisierung, die aus der Differenz zwischen Nitratabnahme bis zum 1. Schnitt und N-Aufnahme des Grases errechnet wurde, korrelierte schwach mit EUF-Corg ($r = 0,50^*$), d.h., daß die N-Immobilisierung (mikrobiologische N-Assimilation) von der Menge an verfügbarem organischen Kohlenstoff abhängig ist. Da in der ersten unbewachsenen Phase keine apparente N-Immobilisierung erfolgte, darf zurecht gefolgert werden, daß die Mikroorganismen zur N-Immobilisierung hauptsächlich den von der Wurzel stammenden organischen C nutzten. Demnach dürfte die Immobilisierung hauptsächlich in der Rhizosphäre erfolgt sein.

Zum Zeitpunkt des 1. Schnittes waren die NH₄⁺- und NO₃⁻-Konzentrationen im Boden weitgehend erschöpft, d.h. sehr niedrig und blieben auf diesem niedrigen Niveau bis zum Versuchsende (T₁₅₅). Deshalb war praktisch Norg die N-Quelle für das Gras des 2. u. 3.

Schnittes. Signifikante Korrelationen wurden zwischen der EUF-Norg 20 + 80°C Fraktion und der N-Aufnahme der Pflanzen zum 2. u. 3. Schnitt gefunden ($r = 66^{**}$ bzw. $r = 0,55^*$). In dieser Phase dürfte der mineralisierte N des Norg-Pools sofort von den Wurzeln in Form von NH_4^+ und nicht als NO_3^- aufgenommen worden sein, zumal NH_4^+ gegenüber NO_3^- bevorzugt aufgenommen wird (Rroco u. Mengel 2000). Eine apparente N-Immobilisierung erfolgte in dieser Phase nicht. Signifikante Veränderungen von EUF-Norg wurden von der Aussaat (T_{48}) bis zum 3. Schnitt (T_{155}) gefunden, zuerst ein Abfall, dann eine Steigerung. Vermutlich gehört der extrahierte EUF-Norg einem Pool an, der durch Influx und Efflux von organischem N im Boden charakterisiert ist (Appel u. Xu 1995, Mengel et al. 1999).

Die nach der Formel: $\text{Netto-N}_{\min} = (\text{N}_{\text{Pflanze}} + \text{N}_{\min} + \text{fix.-NH}_4^+)_{\text{Versuchsende}} - (\text{N}_{\text{Dünger}} + \text{N}_{\min} + \text{fix.-NH}_4^+)_{\text{Versuchsbeginn}}$ berechnete Netto-N-Mineralisierung korrelierte nicht mit dem EUF-Norg. Diese mangelnde Korrelation ist dadurch bedingt, daß die Varianz des Nitrats im Boden in der 1.Phase des Versuches auch von der N-Immobilisierung maßgeblich beeinflusst wurde.

Es wurde zum ersten Mal auch das nicht austauschbare Ammonium in der Formel zur Berechnung der Netto-N-Mineralisation einbezogen. Hier wurde wegen der geringen Netto-Aufnahme an fixiertem NH_4^+ keine signifikante Beziehung der Netto-N-Mineralisation *versus* fixiertem- NH_4^+ gefunden. Das fixierte- NH_4^+ korrelierte auch nicht mit der Gesamt-N-Aufnahme der Pflanze. Es nahm aber signifikant von der Aussaat bis zum Ende des Versuches ab. Es trug wahrscheinlich geringfügig mit etwa 7 % zur Gesamt-N-Aufnahme der Pflanze bei.

Auf Grund der signifikanten Korrelationen zwischen den EUF-N-Fractionen zu Versuchsbeginn und der kumulativen N-Aufnahme der Pflanzen sind EUF- NH_4^+ ($r = 0,711^{***}$), EUF- NO_3^- ($r = 0,882^{***}$) sowie EUF- Norg 20+80°C ($r = 0,734^{***}$) bedeutende, die N-Verfügbarkeit des Bodens charakterisierende Größen.

Kurze Zusammenfassung**Der extrahierbare organische Stickstoff und Kohlenstoff in Böden und ihre Bedeutung für die Stickstoffmineralisation, untersucht mittels Elektro-Ultrafiltration (EUF)**

Es wurden Zusammenhänge zwischen der Netto-N-Mineralisation im Boden und den Elektroultrafiltrations (EUF)-löslichen N-Formen sowie dem EUF-löslichen organischen C untersucht. In Inkubationsversuchen mit 13 verschiedenen Böden zeigte sich, daß der durch EUF-extrahierbare -Aminosäure-N mit der Netto-N-Mineralisation besser korrelierte ($r = 0,84^{***}$) als der gesamte EUF-extrahierbare organische N (EUF Norg, $r = 0,62^*$).

Gefäßversuche mit Weidelgras auf 20 verschiedenen Böden ergaben einen hoch signifikanten Anstieg der Nitrifikation in der ersten Phase bei unbewachsenen Böden. Mit Beginn des Weidelgraswachstums nahm der Nitrat-N im Boden rapide ab und erreichte er beim 1. Schnitt des Grases annähernd den Wert Null. Diese Abnahme des Nitrat-N im Boden wurde etwa zur Hälfte durch die N-Aufnahme der Pflanze ($r = 0,96^{***}$), die weitere Hälfte durch die N-Aufnahme von Mikroorganismen (N-Immobilisierung) verursacht. Dieser immobilisierte Nitrat-N korrelierte signifikant mit dem EUF-extrahierbaren organischen C ($r = 0,50^*$). Es wird angenommen, daß der von den Wurzeln abgeschiedene organische C diese N-Immobilisierung ermöglichte.

In der zweite Phase des Weidelgraswachstums (2. und 3. Schnitt) war der organische N des Bodens die fast ausschließliche N-Quelle für die Pflanzen. Dementsprechend korrelierte EUF-Norg signifikant mit der N-Aufnahme der Pflanze (2. Schnitt $r = 0,66^{**}$; 3. Schnitt $r = 0,55^*$).

Das EUF-Verfahren, das mittlerweile in Deutschland und Österreich zur Erfassung des mineralisierbaren organischen N in der Routineanalyse angewendet wird, könnte noch verbessert werden, wenn man anstelle des EUF-Norg die löslichen Aminosäure bestimmt. Deren Konzentration ist allerdings sehr niedrig, so daß es hier weiteren analytischen Arbeit bedarf.

Unseres Wissens wurde mit der EUF-Corg-Analyse zum ersten Mal eine Routinemethode gefunden, mit der das N-Immobilisierungspotential angezeigt wird. Auch dieses Verfahren bedarf der Verfeinerung.

Literaturverzeichnis

- Amato, M.; Ladd, J. N. (1988): An assay for microbial biomass based on ninhydrin-reactive nitrogen in extracts of fumigated soils. *Soil Biol. Biochem.* 20, 107-114.
- Appel, T. (1991): Der Stickstoff-Umsatz in Sandböden und seine Bedeutung für die Prognose des pflanzenverfügbaren Stickstoffs sowie des N-Düngerbedarfs von Getreide, untersucht mittels Elektro-Ultrafiltration (EUF) und CaCl_2 -Extraktion. Dissertation, Universität Gießen.
- Appel, T.; Mengel, K. (1990): Importance of organic nitrogen fractions in sandy soils obtained by electro-ultrafiltration or CaCl_2 extraction, for nitrogen mineralization and nitrogen uptake of rape. *Biol. Fertil. Soils* 10, 97-101.
- Appel, T.; Mengel, K. (1993): Nitrogen fractions in sandy soils in relation to plant nitrogen uptake and organic matter incorporation. *Soil Biol. Biochem.* 25, 6, 685-691.
- Appel, T.; Steffens, D. (1988): Vergleich von Elektro-Ultrafiltration (EUF) und Extraktion mit 0,01 molarer CaCl_2 -Lösung zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Stickstoffs im Boden. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 151, 127-130.
- Appel, T.; Xu, F. (1995): Extractability of ^{15}N labelled plant residues in soil by electroultrafiltration. *Soil. Biol. Biochem.* 27, 1393-1399.
- Azam, F.; Simmons, F.W.; Mulvaney, R. L. (1993): Mineralization of N from plant residues and its interaction with native soil N. *Soil Biol Biochem.* 25, 1787-1792.
- Baethgen, W. E.; Alley, M. M. (1987): Nonexchangeable ammonium nitrogen contribution to plant available nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51, 110-115.
- Bannick, C. G.; Jörgensen, R. G. (1993): Change in N fractions during composting of wheat

straw. Biol. Fertil. Soils 16, 269-274.

Barekzai, A.; Becker, A.; Mengel, K. (1988): Einfluß einer Güllendüngung auf EUF-N-Fraktionen bei Ackerland und Grünland. VLDUFA-Schriftenreihe 28, Kongreßband, Teil II, 27-42.

Barekzai, A.; Mühlhng, K.-H. (1992): Einfluß der Trocknungsdauer und Trocknungstemperatur von Bodenproben auf ihren Gehalt an CaCl_2 -extrahierbaren N-Fraktionen sowie deren Beziehung zur N-Aufnahme der Pflanze. Agribiol. Res. 45, 1, 153-158.

Barekzai, A.; Steffens, D.; Bohring, J.; Engels, T. (1992): Prinzip und Überprüfung des „Gießener Modells“ zur N-Düngeempfehlung bei Wintergetreide mit Hilfe der EUF-Methode. Agribiol. Res. 45, 1, 65-76.

Beauchamp, E. G.; Reynolds, W. D.; Brasche-Villeneuve, D.; Kirby, K. (1986): Nitrogen mineralization kinetics with different soil pretetements and cropping histories. Soil Sci. Soc. Am. J. 50, 1478-1483.

Beck, Th. (1979): Die Nitrifikation im Boden (Sammelreferat). Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 142, 344-364.

Beck, Th. (1983): Die N-Mineralisierung von Böden im Laborbrutversuch. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 146, 243-252.

Beck, Th. (1985): Einfluß der Landbewirtschaftung auf das Bodenleben. VDLUFA-Schriftenreihe 16, Kongreßband, 31-46.

Beer, K.; Freytag, H.-E. (1982): Die Formen der Stickstoffspeicherung im Boden. Die Bodenkultur 33, 106-117.

Behm, R. (1988): Untersuchungen zur Bestimmung der leicht umsetzbaren N-C-Anteile im

- Heiswasserextrakt des Bodens. Arch. Acker-u. Pflanzenbau u. Bodenk. 32 (5), 333-335.
- Bradford, M. M. (1976): A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Anal. Biochem. 72, 248-254.
- Brewer, J. M.; Pesce, A. J.; Ashworth, R. B. (1977): Experimentelle Methoden in der Biochemie. Fischer, Stuttgart, New York.
- Bronner, H. (1976): Kenndaten des pflanzenverfügbaren Bodenstickstoffs in Beziehung zum Wachstum der Zuckerrübe. Die Bodenkultur 27, 18-59 u. 120-161.
- Campbell, N. E. R.; Lees, H. (1967): The Nitrogen cycle. In: Soil Biochemistry, McLaren; Douglas, A.; Peterson, G. H.; Macel Decker Inc.; New York: 194-215.
- Campbell, C. A.; Schnitzer, M.; Lafond, G. P.; Zentner, R. P.; Knipfel, J. E. (1991): Thirty years crop rotations and management practices effects on soil and amino nitrogen. J. Soil Sci. 168, 489-500.
- Catroux, G.; Schnitzer, M. (1987): Chemical, spectroscopic, and biological characteristics of the organic matter in particle size fractions separated from an aquoll. Soil Sci. Am. J. 51, 1200-1207.
- Cortez, J. (1989): Effect of drying and rewetting on mineralization and distribution of bacterial constituents in soil fractions. Biol. Fertil. Soils 7, 142-151.
- Craswell, E. T.; Godwin, D. C. (1984): The efficiency of nitrogen fertilizers applied to cereals in different climates. Adv. Plant Nutr. 1, 1-55.
- Dalal, R. C. (1978): Distribution of organic nitrogen in organic volcanic and nonvolcanic tropical soils. Soil Sci. 125, 178-180.

- Danneberg, O. (1971): ^{15}N -Untersuchungen als Beitrag zur Kenntnis der Humifizierungsprozesse Teil II: Huminstoffaufbau und Stickstoffumbau während der Rotte von Maisstroh. *Die Bodenkultur* 23, 264-278.
- Danneberg, O. H.; Kandeler, E.; Wenzl, W. (1988a): Zusammenhänge zwischen der Mikroflora, dem Mineralstickstoff und den Fraktionen des „heißwasserlöslichen“ Stickstoffs im Boden. *VDLUFA-Schriftenreihe 28/II, Kongreßband 1988*, 539-550.
- Danneberg, O. H.; Wenzl, W.; Ellinghaus, R. (1988b): Vergleich verschiedener Bodenextrakte zur Beurteilung des nachlieferbaren Stickstoffs mit Hilfe der Säulenchromatographie. *VLDUFA-Schriftenreihe 28/II, Kongreßband 1988*, 551-573.
- De Ruiter, P. C.; Van Veen, J. A.; Moore, J. C.; Brussaard, L.; Hunt, H. W. (1993): Calculation of nitrogen mineralization in soil food webs. *Plant and Soil* 157, 163-173.
- Engel, T; Reiner R. (1990): Stickstoff im Frühjahr nicht messen, sondern berechnen. *DLG-Mitteilungen*, Heft 1, 12-15.
- Franke, U. (1997): Modellierung von Umsatzprozessen der organischen Bodensubstanz. *Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenk.* 41, 527-547.
- Franzlübbbers, A. J.; Hons, F. M.; Zuberer, D. A. (1994): Seasonal changes in soil microbial biomass and mineralizable C and N in wheat management systems. *Soil Biol. Biochem.* 26, 11, 1469-1475.
- Gutser, R.; Teicher, K. (1976): Veränderungen des löslichen Stickstoffs einer Ackerbraunerde unter Winterweizen im Jahresverlauf. *Bayrisches Landwirtschaftliches Jahrbuch* 53, 215-226.

- Gutser, R.; Teicher, K.; Maier, S. (1990): Gefäßversuche zur Aussagekraft des Norg-Stickstoffs für das N-Potential von Böden. VLDUFA-Schriftenreihe 32, Kongreßband, 243-248.
- Gutser, R.; Vilsmeier, K.; Teicher, K.; Beck, T. (1989): Aussagekraft des Norg-Stickstoffs für die N-Nachlieferung von Böden. VDLUFA-Schriftenreihe 30, Kongreßband, 187-194.
- Haider, K.; Frederick, L. R.; Flaig, W. (1965): Reactions between amino acid compounds and phenols during oxidation. *Plant and Soil* 22, 49-64.
- Hassink, J.; Neutel, A. M.; De Ruiter, P. C. (1994): C and N mineralization in sandy and loamy grassland soils: The role of microbes and microfauna. *Soil Biol. Biochem.* 26, 11, 1565-1571.
- Hecht, W.; Garz, J. (1980): Das N-Nachlieferungsvermögen der Ackerböden in Abhängigkeit von verschiedenen Bodeneigenschaften. *Arch. Acker-u. Pflanzenbau u. Bodenk., Berlin* 24, 145-150.
- Horn, D. (1990): Die Erstellung eines Stickstoffdüngungsmodells für Mais auf der Basis von Feldversuchen. Dissertation, Universität Gießen.
- Houba, V. J. G.; Novozamsky, I.; Huybregts, A. W. M.; Van der Lee, J. J. (1986): Comparison of soil extractions by 0,01 M CaCl₂ ,by EUF and by some conventional extraction procedures *Plant and Soil* 96, 433-437.
- Hütsch, B. (1991): Einfluß differenzierter Bodenbearbeitung auf die Stickstoffdynamik im Boden in Abhängigkeit von Beprobungstermin und Standort, unter besonderer Berücksichtigung von N-Freisetzung, Nitratverlagerung und Denitrifikation. Dissertation, Universität Gießen.
- Hütsch, B.; Mengel, K. (1990): Einfluß von Bodenbearbeitung und Bodentyp auf EUF

extrahierbare N-Formen. VLDUFA-Kongreß in Berlin vom 17. bis 22. Sept. 1990, Kurzfassung der Vorträge S. 40.

Hütsch, B.; Mengel, K. (1993): Effect of different soil cultivation systems, including no-tillage,

on electro-ultrafiltration extractable organic nitrogen. *Biol. Fertil. Soils* 16, 233-237.

Isermann, K. (1990): Share of agriculture in nitrogen and phosphorus emissions into the surface waters of Westerns Europe against the background of their eutrophication. *Fert. Research* 26, 253-269.

Jenkinson, D. S.; Ladd, J. N. (1981): Microbial biomass in soil: Measurement and turnover. In:

Soil Biochemistry, Vol 5, Paul, E. A. and Ladd, J. N. (eds.) New York, Basel: Marcel Dekker, 415-471.

Joergensen, R. G.; Brookes, P. C. (1990): Ninhydrin-reactive nitrogen measurements of microbial biomass in 0.5 M K₂SO₄ soil extracts. *Soil Biol. Biochem.* 22, 1023-1027.

Jörgensen, R. G.; Kübler, H.; Meyer, B.; Volters, V. (1993): Die Beziehungen von mikrobiell gebundenem C, N und P in Acker- und Grünlandböden. VDLUFA-Schriftenreihe 37, Kongreßband, 189-192.

Jörgensen, R. G.; Meyer, B.; Müller, T. (1994): Time-course of the microbial biomass under wheat: a one year field study. *Soil Biol. Biochem.* 26, 987-994.

Jungk, A.; Claassen, N.; Kuchenbuch, R. (1982): Potassium depletion of soil-root interface in relation to soil parameters and root properties. In: „Plant Nutrition“. (Scaife, A., ed.). Proc. 9th Intern. Plant Nutrition Colloquim, Warwick, England, 250-255.

Kaiser, E. A. (1994): Significance of microbial biomass for carbon and nitrogen mineralization

in soil. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 157, 271-278.

- Kassim, G.; Martin, J. P.; Haider, K. (1981): Incorporation of a wide variety of organic substrate carbons into soil biomass as estimated by the fumigation procedure. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45, 1106-1112.
- Ke, F.; Dou, H.; Mengel, K. (1990): Turnover of plant matter in soils as assessed by electroultrafiltration (EUF) and CaCl_2 extracts. *Agribiol. Res.* 43 (4), 337-347.
- Köhler, W.; Schachtel, G.; Voleske, P. (1984): *Biometrie - Einführung in die Statistik für Biologen und Agrarwissenschaftler*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo.
- Kohl, A. (1989): Zur Bedeutung des leicht mobilisierbaren Bodenstickstoffs bei der Prognose des N-Düngerbedarfs von Zuckerrüben unter besonderer Berücksichtigung der mittels Elektro-Ultrafiltration (EUF) erfaßbaren Norg-Fraktion. Dissertation, Universität Bonn.
- Kohl, A.; Werner, W. (1986): Untersuchungen zur saisonalen Veränderung der EUF-Fraktionen und zur Charakterisierung des leicht mobilisierbaren Bodenstickstoffs durch Elektro-Ultrafiltration (EUF). *VDLUFA-Schriftreihe 20, Kongreßband*, 333-341.
- Kohl, A.; Werner, W. (1989): Möglichkeiten und Grenzen unterschiedlicher methodischer Ansätze zur Prognose des mobilisierbaren Stickstoffs. *VDLUFA-Schriftenreihe 28/II, Kongreßband 1988*, 1-14.
- Körschens, M.; Schulz, E.; Behm, R. (1990): Heißwasserlöslicher C und N im Boden als Kriterium für das N-Nachlieferungsvermögen. *Zbl. Mikrobiol. Jena* 145, 305-311.
- Körschens, M.; Weigel, A.; Schulz, E. (1998): Turnover of soil organic matter (SOM) and long-

- term balances-tools for evaluating sustainable productivity of soils. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 161, 409-424.
- Kutscha-Lissberg, P.; Prilling, F. (1982): Rapid determination of EUF-extractable nitrogen and boron. *Plant and Soil* 64, 63-66.
- Lamonthe, P. J.; McCormick, P. G. (1973): Role of hydridantin in the determination of amino acids using ninhydrin. *Anal. Chemistry* 45, 1906-1911.
- Lee, Y. P.; Takahashi, T. (1966): An improved colorimetric determination of amino acids with the use of ninhydrin. *Anal. Biochem.* 14, 71-77.
- Leinweber, P.; Schulten, H.-R.; Körschens, M. (1995): Hot water extracted organic matter: chemical composition and temporal variations in a long-term field experiment. *Biol. Fertil. Soils* 20, 17-23.
- Li, C.; Fan, X.; Mengel, K.; (1990): Turnover of interlayer ammonium in loess-derived soil grown with winter wheat in the Shaanxi province of China. *Biol. Fertil. Soils* 9, 211-214.
- Liljeroth, E.; Schelling, G. C.; Van Veen, J. A. (1990): Influence of different application rates of nitrogen to soil on rhizosphere bacteria. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 38, 255-264.
- Lochmann, R.; van der Ploeg, R. R.; Huwe, B. (1989): Zur Parametrisierung der Stickstoffmineralisierung in einem Ackerboden unter Feldbedingungen. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 152, 319-324.
- Loll, M. J.; Bollag, J.-M. (1983): Protein transformation in soil. *Adv. Agron.* 36, 351-382.
- Lowry, O. H.; Rosebrouch, N. J.; Farr, A. L.; Randall, R. J. (1951) *J. Biol. Chem.* 193, 265-

- 275 in: Von Kleber, H.-P.; Schlee, D.; Schöpp, W. (1990): Biochemisches Praktikum. 4. Auflage, Fischer Verlag, Jena.
- Martin, J. P.; Haider, K. (1971): Microbial activity in relation to soil humus formation. *Soil Sci.* 111 (1), 54-63.
- Mary, B.; Fresneau, C.; Morel, J. L.; Mariotti, A. C. (1993): C and N Cycling during the decomposition of root mucilage, roots and glucose in soil. *Soil Biol. Biochem.* 25, 1005-1014.
- Mengel, K. (1991a): Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. 7. Auflage, Fischer Verlag, Jena.
- Mengel, K. (1991b): Available nitrogen in soils and its determination by the „Nmin-method and by electroultrafiltration (EUF). *Fertil. Res.* 28, 251-262.
- Mengel, K. (1991c): Organischer Stickstoff des Bodens: Seine Mineralisierbarkeit und seine Bedeutung für eine ökologisch orientierte Landwirtschaft. *Ergebnisse landwirtschaftlicher Forschung an der Justus-Liebig-Universität Heft 20*, 35-49.
- Mengel, K. (1992): Nitrogen: agricultural productivity and environmental problems. S. 1-15. In Mengel, K. und Pilbeam (eds.) *Nitrogen Metabolism of Plants. Proceedings of the Phytochemical Society of Europe 33*. Oxford University Press, New York.
- Mengel, K.; Scherer, H. W. (1981): Release of nonexchangeable (fixed) ammonium under field conditions during the growing season. *Soil Sci.* 131, 226-234.
- Mengel, K.; Schneider, B.; Kosegarten, H. (1999): Nitrogen compounds extracted by electroultrafiltration (EUF) or CaCl₂ solution and their relationships to nitrogen mineralization in soils. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 162, 139-148.

Moore, S. (1968): Amino acids analysis: aqueous dimethyl sulfoxide as a solvent for the ninhydrin reaction. *J. Biol. Chem.* 243, 6281-6283.

Moore, S.; Stein, W. H. (1948): Photometric ninhydrin method for use in the chromatography of amino acids. *J. Biol. Chem.* 176, 367-388.

Moore, S.; Stein, W. H. (1954): A modified ninhydrin reagent for the photometric determination of amino acids and related compounds. *J. Biol. Chem.* 211, 907-913.

Nemeth, K. (1976): Elektro-Ultrafiltration (EUF), Allgemeiner Teil, Hannover, 26-30.

Nemeth, K. (1985): Recent advances in EUF research (1980-1983). *Plant and Soil* 83, 1-19.

Nemeth, K.; Bartels, H.; Maier, J. (1987): Die Bestimmung des pflanzenverfügbaren anorganischen und organischen Bodenstickstoffs mittels EUF. 3.Teil. *Zuckerind.* 112, 223-226.

Nemeth, K.; Bartels, H.; Maier, J. (1987): Die Bestimmung des pflanzenverfügbaren anorganischen und organischen Bodenstickstoffs mittels EUF. 3.Teil. *Zuckerind.* 112, 223-226.

Nemeth, K.; Bartels, H.; Vogel, M. (1986): Die Bestimmung des pflanzenverfügbaren anorganischen und organischen Bodenstickstoffs mittels EUF- 1. Teil. *Zuckerind.* 111, 932-937.

Nemeth, K.; Bartels, H.; Vogel, M.; Mengel, K. (1988): Organic nitrogen compounds extracted from arable and forest soils by electro-ultrafiltration and recovery rates of amino acids. *Biol. Fertil. Soils* 5, 271-275.

Nemeth, K.; Makhdum, I. Q.; Koch, K.; Beringer, H. (1979): Determination of categories of

soil nitrogen by electro-ultrafiltration (EUF). *Plant and Soil* 53, 445-453.

Newbould, P. (1989): The use of nitrogen fertilizer in agriculture. Where do we go practically and ecologically? *Plant and Soil* 115, 297-311.

Nordmeyer, H.; Richter, J. (1985): Incubation experiments on nitrogen mineralization in loess and sandy soils. *Plant and Soil* 83, 433-445.

Olf, H.-W.; Werner, W. (1991): Vergleichende Untersuchungen zur Erfassung von mikrobiell gebundenem Stickstoff im Boden. VLDUFA-Schriftenreihe 33 Kongreßband 648-659.

Paul, R. (1994): Feldversuche zur genaueren Erfassung der Stickstoffanlieferung aus Ernterückständen mittels Elektro-Ultrafiltration (EUF). Dissertation, Universität Gießen.

Paul, R. (1994): Feldversuche zur genaueren Erfassung der Stickstoffanlieferung aus Ernterückständen mittels Elektro-Ultrafiltration (EUF). Berichte aus der Agrarwissenschaft, Verlag Shaker, Aachen.

Paul, R. E.; Johnson, C. M.; Jones, R. L. (1975): Studies on the secretion of maize root cap slime. I. Some properties of the secreted polymer. *Plant Physiol.* 56, 300-306.

Piper, T. J.; Posner, A. M. (1972): Humic acid nitrogen. *Plant and Soil* 36, 595-598.

Recke, H.; Nemeth, K.; Vogel, M. (1990): Zusammensetzung der EUF-Norg-Fractionen bei 20°C und 80°C in Abhängigkeit von Bodeneigenschaften. VLDUFA-Schriftreihe 32, Kongreßband 1990, 329-335.

Rees, R. M.; Yan, L.; Ferguson, M. (1993): The Release and plant uptake of nitrogen from some plant and animal manures. *Biol. Fertil. Soils* 15, 285-293.

- Richter, J.; Nuske, A.; Böhmer, K.; Wehrmann, J. (1980): Simulations of nitrogen mineralization and transport in loess-parabrownearthes. *Plant and Soil* 54, 329-337.
- Rocco, E.; Mengel, K. (2000): Nitrogen losses from entire plants of spring wheat (*Triticum aestivum*) from tillering to maturation. *Europ. J. Agron.* 13, 101-110.
- Saha, D.; Mukopadhyay, A. K. (1986): Availability of residual fixed ammonium to crops. *Biol. Fertil. Soils* 2, 83-86.
- Schaaf, H.; Mangold, W.; (1991): Überprüfung verschiedener Trocknungsverfahren und Extraktionsmethoden (CaCl₂, CAL) in der Bodenuntersuchung auf pflanzenverfügbaren Stickstoff und auf Grundnährstoffe. *VDLUFA-Schriftenreihe* 33, 305-310.
- Schachtschabel, P. (1956): Der Magnesiumversorgungsgrad nordwestdeutscher Böden und seine Beziehung zum Auftreten von Mangelsymptomen an Kartoffeln. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 74, 202-219.
- Schallar, K. (1988): Praktikum zur Bodenkunde und Pflanzenernährung. Geisenheimer Berichte Band 2, Gesellschaft zur Förderung der Forschung anhalt Geisenheim (Hrsg.), Selbstverlag, Geisenheim.
- Scharpf, H.C.; Budig, M.; Wehrmann J. (1985): Lösungswege für das Nitratproblem am Beispiel eines Gemüsebaubetriebes im Wasserschutzgebiet. *VDLUFA-Schriftenreihe* 16, 637-642.
- Scharpf, H.C.; Schrage, R (1988): Größeordnung und Einflußfaktoren der Freisetzung von Stickstoff aus Ernterückständen im Gemüsebau. *VDLUFA-Schriftenreihe* 28 II, 81-95.
- Scherer, H. W. (1993): Dynamics and availability of the nonexchangeable NH₄-N - a review. *Eur. J. Agron.* 2 (3), 149-160.

- Scherer, H. W.; Ahrens, G. (1996): Depletion of nonexchangeable $\text{NH}_4\text{-N}$ in the soil-root interface in relation to clay mineral composition and plant species. *Eur. J. Agron.* 5, 1-7.
- Scherer, H. W.; Mengel, K. (1979): Der Gehalt an fixiertem Ammoniumstickstoff auf einigen repräsentativen hessischen Standorten. *Landwirtsch. Forschung* 32 (4), 416-424.
- Scherer, H. W.; Mengel, K. (1986): Importance of soil type on the release of nonexchangeable NH_4^+ and availability of fertilizer NH_4^+ and fertilizer NO_3^- . *Fert. Research* 8, 249-258.
- Scherer, H. W.; Weimer, S. (1993): Release of nonexchangeable $\text{NH}_4^+\text{-N}$ after planting of rey grass in relation to soil content and as affected by nitrate supply. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 156, 143-148.
- Schlichting, E.; Blume, H. P. (1966): *Bodenkundliches Praktikum*. Paul Parey Verlag, Hamburg, Berlin.
- Schneider, B. (1995): Stoffliche Zusammensetzung extrahierbarer organischer Stickstoffverbindungen in Böden in ihrer Bedeutung für die Stickstoffmineralisation. Dissertation, Universität Gießen.
- Schnürer, J.; Rosswall, Th. (1987): Mineralization of nitrogen from ^{15}N labelled fungi, soil microbial biomass and roots and its uptake by barley plants. *Plant and Soil* 102, 71-78.
- Schulz, E. (1990): Die heißwasserextrahierbare C-Fraktion als Kenngröße zur Einschätzung des Versorgungszustandes der Böden mit organischer Substanz (OS). *Tag.-Ber. Akad. Landwirtsch.-Wiss., Berlin* 295, 269-275.
- Schulz, E. (1997): Charakterisierung der organischen Bodensubstanz (OBS) nach dem Grad ihrer Umsetzbarkeit und ihre Bedeutung für Transformationsprozesse für Nähr- und Schadstoffe. *Arch. Acker-u. Pflanzenbau u. Bodenk.* 41, 6, 465-483.

- Schulz, R.; Marschner, H. (1986): Optimierung der Stickstoff-Spätdüngung zu Winterweizen mit dem Nitratschnelltest. VDLUFA-Schriftreihe 20, 343-360.
- Schüller, H. (1969): The CAL-method, a new method to determine the available phosphate in soils. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 123, 48-63.
- Silva, A.; Bremner, J. (1966): Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soils. 5. Fixed Ammonium. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30, 587-593.
- Smith, S. J.; Power, J. F.; Kemper, W. D. (1994): Fixed Ammonium and nitrogen availability indexes. Soil Sci. 158, 132-140.
- Sorge, C.; Schnitzer, M.; Schulten, H.-R. (1993): In-source pyrolysis-fieldionization mass spectrometry and Curie-point pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry of amino acids in humic substances and soils. Biol. Fertil. Soils 16, 100-110.
- Sowden, F. J.; Ivarson, K. C. (1974): Effects of temperature on changes in the nitrogenous constituents of mixed forests litters during decomposition after inoculation with various microbial cultures. Can. J. Soil Sci. 54, 387-394.
- Sparling, G. P.; Ross, D. J. (1988): Microbial contribution on the increased nitrogen mineralization after air-drying of soils. Plant and Soil 105, 163-167.
- Spitzl, M.; Garz, J. (1974): Quantitative Veränderungen von organisch gebundenem Stickstoff in Abhängigkeit von Düngung und Bodentiefe. Arch. Acker-Pflanzenbau u. Bodenk. 18 (9), 691-698.
- Stanford, G. (1982): Assessment of soil nitrogen availability. In Stevenson, F. J. (Hrsg.): Nitrogen in agricultural soils. Agronomy 22, Madison, Wisconsin, USA, 651-683.

Stanford, G.; Smith, S. J. (1972): Nitrogen mineralization potentials of soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 36, 465-472.

Steffens, D.; Sparks, D. L. (1997): Kinetics of nonexchangeable ammonium release from soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 61, 455-462.

Stevenson, F. J. (1982): Nitrogen-organic forms. In: Methods of soil analysis, Part 2, chemical and microbiological properties, second edition, 625-641.

Uischner-Peetz C.; Neumann, K.-H. (1990): Untersuchungen zur molekularen Charakterisierung der Norg-Fraktion in verschiedenen Böden. VLDUFA-Schriftenreihe 32, Kongreßband 1990, 853-859.

Van Praag, H. J.; Fischer, V.; Riga, A. (1980): Fate of fertilizer nitrogen applied to winter wheat as $\text{Na}^{15}\text{NO}_3$ and $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ studied in microplots through a four-course rotation. 2. Fixed ammonium turnover and nitrogen reversion. Soil Sci. 130, 100-105.

Van Veen, J. A.; Merckx, R.; Van de Gejin, S. C. (1989) Plant- and soil-related controls of the flow of carbon from roots through the soil microbial biomass. Plant and Soil 115, 179-188.

VDLUFA (1991): Bestimmung von mineralischem (Nitrat-) Stickstoff in Bodenprofilen (Nmin-Labormethode). VDLUFA-Methodenbuch I, Die Untersuchung von Böden 2-14.

Vetter, H; Steffens, G. (1986): Wirtschaftseigene Düngung. DLG-Verlag.

Von Leidenfrost, E. (1973): Eine Verbesserung der kolorimetrischen Humusbestimmung im Boden nach Westerhoff. Landwirtschaftliche Forschung 28, Sonderheft I, 156-160.

- Völker, U.; Asmus, F. (1981): Untersuchungen zur Wirkung des Stickstoffs aus Aminosäuren. Arch. Acker-Pflanzenbau u. Bodenk. 25, (5) 287-292.
- Warman, P. R.; Isnor, R. A. (1991): Amino acid composition of peptides present in organic matter fractions of sandy loam soils. Soil Sci. 152, (1) 7-13.
- Wehrmann, J.; Scharpf, H.C. (1979): Der Mineralstickstoffgehalt des Bodens als Maßstab für den Stickstoffdüngerbedarf (N_{\min} -Methode). Plant and Soil 52, 109-126.
- Westerhoff, H. (1952): Kolorimetrische Humusbestimmung im Boden. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkde. 56, 49-53.
- Wiklicky, L.; Nemeth, K.; Recke, H. (1983): Beurteilung des Stickstoff-Düngebedarfs für die Zuckerrübe mittels EUF. Symposium „Stickstoff und Zuckerrübe“. Intern. Institut für Zuckerrübenforschung, Brüssel, 533-543.
- Wollring, J.; Wehrmann, J. (1981): Der Nitrat-Pflanzentest, Entscheidungshilfe für die N-Spätdüngung. DLG-Mitt., Heft 8.
- Ziegler, K.; Nemeth, K.; Mengel, K. (1992): Relationship between electroultrafiltration (EUF) extractable nitrogen, grain yield and optimum nitrogen fertilizer rates for winter wheat. Fertilizer Research 32, 37-43.
- Zor, T.; Selinger, Z. (1996): Linearization of Bradford assay increases its sensitivity: theoretical and experimental studies. Anal. Biochem. 236, 302-308.

9. Anhang

Tab. A1: Bodenkenndaten der 13 Versuchsböden (April 1996)

Boden Nr.	Typ	Art	Ort	Vorfrucht	Bemerkungen
1	Braunerde	IS	Gr. Buseck	Winter- Gerste	Keine org. Düngung
2	Alluvium	uL	Gießen	Sonnen- Blumen	Keine org. Düngung
3	Parabraun- erde aus Löß	IU	Gießen	Zuckerrübe	Keine org. Düngung
4	Alluvium	uL	Linden	Winter- Gerste	Keine org. Düngung
5	Kolluvium Gley	uL	Gambach	Winter- Gerste	25 m3 S.-Gülle
6	Parabraun- erde aus Löß	IU	Langgöns	Winter- Weizen	AHL- Düngung
7	Parabraun- erde aus Löß	sU	Ranisch- holzhausen	Brache	Stallmist- Düngung
8	Pseudogley	IS	Ranisch- holzhausen	Triticale	150 dt/ha Stallmist
9	Parabraun- erde	IU	Ranisch- holzhausen	Triticale	150 dt/ha Stallmist
10	Kolluvium	sL	Ranisch- holzhausen	Triticale	150 dt/ha Stallmist
11	Braunerde	sU	Oppenvod	Roggen	Keine org. Düngung
12	Parabraun- erde	IU	Gladbacher- hot	Winter- Weizen	163 dt/ha Stallmist
13	Parabraun- erde	IU	Gladbacher- hot	Winter- Weizen	160 dt/ha Stallmist

Tab. A2: Bodenkenndaten der 11 Versuchsböden aus Belgien (April 1996)

Boden Nr.	Ort	%Sand	%Schluff	%Ton	% C	% O.S.
1	Malcorps	9	72	19	1,38	2,76-
2	Beguin	7	73	20	0,95	1,90
3	Rigaux	13	73	14	1,00	2,00
4	Roisin	27	62	11	0,84	1,68
5	Vanden- bossche	14	71	15	0,90	1,80
6	Leruth	5	80	15	0,91	1,82
7	Langhen- dries	13	73	14	0,87	1,74
8	Vanhoe- broeck	16	73	11	1,01	2,02
9	Vanacker	57	31	12	1,07	2,14
10	Coddens	24	65	11	1,13	2,26
11	D' Huy- vetter	44	39	17	1,21	2,42

Tab. A3 Bodenkenndaten der 20 Böden des Gefäßversuches (April 1998), Gehalte von P, K und Mg (mg kg^{-1} Boden)

Boden	Ort	Bodentyp	Bodenart	P	K	Mg
1	Wabern	P.B.löß	IU	141,2	152,7	80,9
2	Warburg	P.B.löß	IU	112,5	158,5	49,2
3	Warburg	P.B.löß	IU	90,8	84,7	73,0
4	Wabern	P.B.lößlehm	IU	116,3	198,4	63,5
5	Friemar	Schw.E.löß	IU	90,5	152,7	194,6
6	Burgwerben	Schw.E.löß	IU	49,2	125,3	140,8
7	Bergtheim	P.B.löß	IU	128,3	254,0	98,8
8	Giebelstadt	P.B.löß	IU	65,4	198,4	113,2
9	Ochsenfurt	P.B.löß	IU	121,4	166,8	142,7
10	Rain	P.B.löß	IS	132,1	237,4	93,4
11	Regensburg	Br.E.	uL	112,2	158,5	175,6
12	Regensburg	P.B.Prz.löß	uL	105,0	158,5	90,3
13	Platting	P.B.löß	uL	192,9	155,2	179,7
14	Platting	P.B.löß	IU	166,0	211,7	151,2
15	Rain	P.B.löß	sU	112,2	216,6	121,9
16	Offenau	P.B.löß	IU	103,7	151,1	86,7
17	Offenau	P.B.löß	IU	166,7	425,0	69,6
18	Groß-Gerau	P.B.löß	IU	163,1	244,9	88,7
19	Groß-Gerau	Br.E.Sand	S	214,7	141,1	52,3
20	Offstein	P.B.löß	IU	108,1	317,9	195,7

Tab. A4: Konzentrationen an NH_4^+ -N, NO_3^- -N und Norg in den EUF-Extrakten der 20°C und 80°C Fraktion zu Versuchsbeginn (mg N kg^{-1} Boden). Mittelwerte von je 2 analytischen Parallelen.

Boden Nr.	20°C Fraktion			80°C Fraktion		
	NH4	NO3	Norg	NH4	NO3	Norg
1	1,8	11,3	11,8	1,1	0,7	5,7
2	2,3	8,8	16,8	0,9	0,8	6,8
3	2,4	3,5	13,0	1,1	0,5	4,5
4	2,0	10,3	18,9	0,7	0,7	7,7
5	1,9	13,2	19,1	1,2	1,0	8,8
6	1,8	3,6	15,8	1,2	0,6	6,0
7	1,7	10,4	12,3	0,8	0,7	5,1
8	1,7	2,7	8,6	0,6	0,4	4,9
9	1,8	8,1	13,4	0,6	0,5	4,8
10	1,9	9,0	15,0	0,8	0,6	5,6
11	1,6	5,4	11,5	0,9	0,4	4,8
12	1,8	14,4	15,0	1,2	1,4	7,2
13	1,7	15,1	13,3	1,0	0,9	5,3
∅	1,9	8,9	14,2	0,9	0,7	5,9

Tab. A5: Nmin-Konzentrationen der feuchten Böden extrahiert mit CaCl_2 -Lösung zu Versuchsbeginn (T_0) sowie zum jeweiligen Probenahmetermin (T_x) (mg N kg^{-1} Boden)

Boden Nr.	Tag 0		Tag 4		Tag 7		Tag 20		Tag 41		Tag 61	
	NH_4	NO_3										
1	0,0	15,7	0,1	16,1	0,0	17,1	0,0	25,5	0,0	33,8	0,0	41,3
2	0,0	7,8	0,1	9,3	0,0	10,3	0,0	16,0	0,0	24,9	0,0	32,1
3	0,0	3,7	0,1	3,9	0,0	4,2	0,0	7,8	0,1	11,6	0,0	14,7
4	0,0	10,3	0,0	11,3	0,0	13,2	0,0	20,2	0,1	32,2	0,0	43,7
5	0,0	12,7	0,0	13,8	0,0	15,0	0,0	24,6	0,3	45,0	0,0	57,4
6	0,0	2,8	0,1	6,2	0,0	6,4	0,0	13,1	0,1	23,7	0,0	32,0
7	0,0	10,6	0,0	12,7	0,0	13,5	0,0	20,8	0,2	28,1	0,0	34,3
8	0,0	3,8	0,0	5,0	0,0	5,8	0,0	11,9	0,1	21,0	0,0	28,7
9	0,0	7,3	0,0	9,7	0,0	11,1	0,0	16,0	0,1	25,2	0,0	29,5
10	0,0	8,5	0,1	10,3	0,1	11,0	0,0	17,5	0,1	25,7	0,0	32,9
11	0,1	5,4	0,2	7,1	0,0	8,3	0,3	15,9	1,0	24,7	0,4	32,5
12	0,0	14,7	0,1	19,0	0,0	21,0	0,3	28,9	0,4	39,4	0,0	48,0
13	0,0	14,8	0,0	17,3	0,0	17,5	0,1	27,9	0,6	38,8	0,1	50,1
∅	0,0	9,1	0,1	10,9	0,0	11,9	0,1	18,9	0,2	28,8	0,0	36,7

Tab. A6 Die Werte der Netto-N-Mineralisation der Versuchsböden zu jedem Probenahmetermin (mg N kg^{-1} Boden)

Boden Nr.	Tag 4	Tag 7	Tag 20	Tag 41	Tag 61
1	0,4	0,9	8,4	8,3	7,4
2	1,6	0,9	5,6	8,9	7,3
3	0,3	0,3	3,5	4,0	3,0
4	1,0	1,9	7,0	12,0	11,5
5	1,2	1,2	9,6	20,6	12,1
6	3,4	0,2	6,6	10,8	8,2
7	2,1	0,8	7,3	7,5	6,0
8	1,2	0,8	6,0	9,3	7,5
9	2,4	1,4	4,8	9,4	4,2
10	1,8	0,8	6,4	8,4	7,1
11	1,8	1,1	7,9	9,5	7,2
12	4,3	2,0	8,1	10,6	8,2
13	2,5	0,2	10,4	11,4	10,8
Ø	1,9	1,0	7,1	10,0	7,7

Tab. A7: Korrelationskoeffizienten (r) verschiedener Bodenkenndaten *versus* N-Fractionen der „Polysulfon“ EUF-Extrakte der 20°C Fraktion zu Versuchsbeginn (T_0); $n = 13$

	EUF-Extraktion mit Polysulfon Filtern			
	20°C Fraktion			
	NH ₄	NO ₃	Norg	Ex.-Vol.(ml)
Ex.-Vol.(ml) ¹⁾	0,07	-0,41	-0,66*	
Ton	-0,35	0,32	0,66*	-0,75**
Schluff	-0,06	0,33	0,37	-0,33
Sand	0,16	-0,40	-0,54	0,52
α -Amino-N ²⁾	-0,30	0,30	0,73**	
Nmin	-0,17	0,95***	0,27	
Nt	-0,14	0,43	0,82***	
Ct	-0,09	0,37	0,80***	
C/N	0,28	-0,51	-0,59*	
pH-Wert	-0,05	0,41	0,62*	

1) Extraktvolumina, 2) α -Amino-N der „Zellulose-triacetat“ EUF-Extrakte

Signifikanz: *, **, *** entsprechen $p < 5\%$, 1% , $0,1\%$

Tab. A8: Korrelationskoeffizienten (r) verschiedener Bodenkenndaten *versus* N-Fractionen der „Polysulfon“ EUF-Extrakte der 80°C Fraktion zu Versuchsbeginn (T₀); n = 13

	EUF-Extraktion mit Polysulfon Filtern 80°C Fraktion			
	NH ₄	NO ₃	Norg	Ex.-Vol.(ml)
Ex.-Vol.(ml) ¹⁾	0,06	-0,54	-0,39	
Ton	-0,21	0,57*	0,50	-0,79**
Schluff	-0,42	0,12	-0,01	-0,38
Sand	0,44	-0,28	-0,15	0,58*
α-Amino-N ²⁾	0,27	0,38	0,17	
Nmin	-0,02	0,85***	0,25	
Nt	0,02	0,61*	0,62*	
Ct	0,13	0,59*	0,62*	
C/N	0,11	-0,48	-0,21	
pH-Wert	-0,32	0,38	0,22	

1) Extraktvolumina, 2) α-Amino-N der „Zellulosetriacetat“ EUF-Extrakte

Signifikanz: *, **, *** entsprechen $p < 5\%$, 1% , $0,1\%$

Tab. A9: EUF-NH₄⁺-Konzentrationen der 20°C Fraktion der bewachsenen Böden während der Versuchsdauer (mg N kg⁻¹ Boden)

Boden Nr.	Anfang 05. Mai T ₀	Aussaat 22. Jun T ₄₈	1.Schnitt 20. Jul T ₇₆	2.Schnitt 19. Aug T ₁₀₆	3.Schnitt 07. Okt T ₁₅₅
1	1,7	1,9	1,4	0,9	0,9
2	0,9	1,1	1,1	0,6	0,6
3	0,8	1,0	0,9	0,6	0,7
4	1,0	1,2	1,0	0,6	0,6
5	1,1	1,5	1,2	0,9	0,8
6	1,0	1,2	1,0	0,7	0,5
7	0,7	1,5	1,0	0,7	0,6
8	0,8	1,1	1,5	0,6	0,5
9	2,3	1,8	1,1	0,8	0,5
10	1,0	1,1	1,2	0,9	0,5
11	0,7	1,2	1,1	1,1	0,7
12	0,8	1,3	1,4	1,4	0,7
13	0,9	1,4	1,4	1,2	0,9
14	1,1	1,3	1,3	1,0	0,7
15	1,5	1,3	1,4	1,1	0,7
16	1,4	1,2	1,1	1,0	0,8
17	1,6	1,4	1,2	1,2	0,8
18	1,0	1,3	1,3	1,2	0,8
19	0,7	1,3	0,9	0,7	0,4
20	1,0	1,4	1,4	1,2	0,7
∅	1,1	1,3	1,2	0,9	0,7
PVT	---	**	*	***	***

Mittelwerte aus je 4 Parallelen. Die Termine entsprechen der jeweiligen Anzahl an Tagen nach Ansetzen des Gefäßversuches; PVT = Parvergleichstest von abhängigen Stichproben; signifikante Veränderungen von einem Beprobungstermin zum nächsten; (*, **, *** entsprechen p<5%; 1%; 0,1%).

Tab. A10: EUF-NH₄⁺-Konzentrationen der 80°C Fraktion der bewachsenen Böden während der Versuchsdauer (mg N kg⁻¹ Boden)

Boden Nr.	Anfang 05. Mai T ₀	Aussaat 22. Jun T ₄₈	1.Schnitt 20. Jul T ₇₆	2.Schnitt 19. Aug T ₁₀₆	3.Schnitt 07. Okt T ₁₅₅
1	0,8	0,6	0,7	0,5	0,6
2	0,5	0,5	0,6	0,4	0,5
3	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5
4	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5
5	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6
6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5
7	0,6	0,6	0,7	0,6	0,7
8	0,5	0,4	0,8	0,5	0,5
9	0,8	0,7	0,9	0,6	0,8
10	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5
11	0,5	0,5	0,6	0,7	0,5
12	0,6	2,0	0,7	0,7	0,6
13	0,6	0,6	0,8	0,7	0,7
14	0,7	0,6	0,8	0,6	0,6
15	1,3	0,9	0,9	0,9	0,7
16	0,8	0,7	0,8	0,7	0,7
17	1,0	0,8	0,9	0,9	0,7
18	0,7	0,6	0,7	0,7	0,6
19	0,6	0,3	0,4	0,3	0,2
20	0,7	1,0	0,7	0,7	0,5
∅	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6
PVT	---	n.s.	n.s.	**	n.s.

Mittelwerte aus je 4 Parallelen. Die Termine entsprechen der jeweiligen Anzahl an Tagen nach Ansetzen des Gefäßversuches; PVT = Parvergleichtest von abhängigen Stichproben; signifikante Veränderungen von einem Beprobungstermin zum nächsten; (** entspricht p < 1 %); n.s. = nicht signifikant.

Tab. A11: EUF-NO₃⁻-Konzentrationen der 20°C Fraktion der bewachsenen Böden während der Versuchsdauer (mg N kg⁻¹ Boden)

Boden Nr.	Anfang 05. Mai T ₀	Aussaat 22. Jun T ₄₈	1.Schnitt 20. Jul T ₇₆	2.Schnitt 19. Aug T ₁₀₆	3.Schnitt 07. Okt T ₁₅₅
1	32,5	57,2	1,0	0,8	0,4
2	23,8	44,3	1,0	0,6	0,5
3	26,8	48,2	0,9	0,5	0,5
4	19,0	38,6	0,7	0,5	0,4
5	25,8	50,4	0,7	0,5	0,5
6	29,0	47,7	0,7	0,5	0,4
7	22,4	50,2	0,9	0,4	0,5
8	22,7	38,2	0,8	0,4	0,4
9	60,6	85,1	1,0	0,6	0,4
10	25,6	46,3	0,7	0,7	0,4
11	25,2	49,0	0,7	0,6	0,5
12	20,5	43,5	0,7	0,6	0,4
13	17,6	36,6	0,6	0,6	0,4
14	25,2	45,2	0,7	0,7	0,4
15	37,5	54,0	0,8	0,7	0,4
16	16,5	35,2	0,7	0,8	0,4
17	31,4	53,8	0,7	0,6	0,5
18	35,4	49,8	0,6	0,3	0,3
19	8,6	22,1	0,5	0,2	0,2
20	23,4	35,2	0,6	0,4	0,4
∅	26,5	46,5	0,7	0,5	0,4
PVT	---	***	***	***	***

Mittelwerte aus je 4 Parallelen. Die Termine entsprechen der jeweiligen Anzahl an Tagen nach Ansetzen des Gefäßversuches; PVT = Parvergleichstest von abhängigen Stichproben; signifikante Veränderungen von einem Beprobungstermin zum nächsten; (***) entspricht p<0,1%).

Tab. A12: EUF-NO₃⁻-Konzentrationen der 80°C Fraktion der bewachsenen Böden während der Versuchsdauer (mg N kg⁻¹ Boden)

Boden Nr.	Anfang 05. Mai T ₀	Aussaat 22. Jun T ₄₈	1.Schnitt 20. Jul T ₇₆	2.Schnitt 19. Aug T ₁₀₆	3.Schnitt 07. Okt T ₁₅₅
1	1,7	2,7	0,2	0,1	0,1
2	1,2	1,9	0,2	0,2	0,2
3	1,0	2,1	0,3	0,2	0,2
4	0,7	1,7	0,2	0,2	0,2
5	1,0	2,5	0,2	0,3	0,2
6	1,3	2,9	0,2	0,3	0,2
7	1,7	2,8	0,3	0,3	0,3
8	1,4	2,1	1,0	0,3	0,2
9	3,8	6,2	0,3	0,2	0,3
10	1,3	3,2	0,1	0,1	0,1
11	1,4	2,5	0,1	0,1	0,1
12	1,2	6,9	0,2	0,2	0,2
13	1,0	1,8	0,1	0,1	0,1
14	1,4	2,2	0,1	0,1	0,2
15	1,9	3,0	0,3	0,5	0,2
16	0,9	2,4	0,2	0,2	0,2
17	2,1	3,5	0,2	0,2	0,2
18	1,6	2,5	0,1	0,1	0,1
19	0,5	1,1	0,1	0,1	0,1
20	1,5	2,8	0,1	0,1	0,1
∅	1,4	2,8	0,2	0,2	0,2
PVT	---	***	***	n.s.	n.s.

Mittelwerte aus je 4 Parallelen. Die Termine entsprechen der jeweiligen Anzahl an Tagen nach Ansetzen des Gefäßversuches; PVT = Parvergleichstest von abhängigen Stichproben; signifikante Veränderungen von einem Beprobungstermin zum nächsten; (***) entspricht $p < 0,1\%$; n.s. = nicht signifikant.

Tab. A13: EUF-Norg-Konzentrationen der 20°C Fraktion der bewachsenen Böden während der Versuchsdauer (mg N kg⁻¹ Boden)

Boden Nr.	Anfang 05. Mai T ₀	Aussaat 22. Jun T ₄₈	1.Schnitt 20. Jul T ₇₆	2.Schnitt 19. Aug T ₁₀₆	3.Schnitt 07. Okt T ₁₅₅
1	14,2	14,8	10,3	4,0	8,6
2	12,7	13,5	10,5	2,9	9,2
3	14,2	15,4	11,4	4,4	10,7
4	12,3	13,2	9,4	1,7	8,4
5	15,6	17,3	13,1	5,7	11,1
6	15,6	13,7	11,5	5,2	10,6
7	11,1	11,1	9,6	2,8	8,2
8	10,6	10,6	10,0	1,2	7,6
9	17,5	18,0	11,8	6,1	10,7
10	10,2	10,4	9,6	2,0	8,4
11	12,0	11,2	8,8	2,3	8,5
12	13,2	12,3	9,8	3,0	8,8
13	10,4	9,9	8,0	1,0	7,3
14	14,2	13,3	11,3	4,9	9,7
15	14,4	12,0	10,8	3,9	8,7
16	11,8	10,9	9,3	1,2	7,2
17	12,8	13,2	10,2	3,5	8,8
18	13,6	12,6	10,4	2,7	8,0
19	8,5	6,9	5,8	0,0	5,3
20	12,5	11,6	10,7	3,4	8,4
∅	12,9	12,6	10,1	3,1	8,7
PVT	---	n.s.	***	***	***

Mittelwerte aus je 4 Parallelen. Die Termine entsprechen der jeweiligen Anzahl an Tagen nach Ansetzen des Gefäßversuches; PVT = Parvergleichtest von abhängigen Stichproben; signifikante Veränderungen von einem Beprobungstermin zum nächsten; (***) entspricht $p < 0,1\%$; n.s. = nicht signifikant.

Tab. A14: EUF-Norg-Konzentrationen der 80°C Fraktion der bewachsenen Böden während der Versuchsdauer (mg N kg⁻¹ Boden)

Boden Nr.	Anfang 05. Mai T ₀	Aussaat 22. Jun T ₄₈	1.Schnitt 20. Jul T ₇₆	2.Schnitt 19. Aug T ₁₀₆	3.Schnitt 07. Okt T ₁₅₅
1	4,6	4,9	4,9	0,6	3,7
2	4,7	5,1	5,2	1,5	4,5
3	5,8	6,7	6,3	2,6	5,5
4	4,9	4,3	4,1	0,5	3,6
5	7,0	5,8	5,5	2,4	4,7
6	6,1	5,5	5,2	2,2	4,4
7	4,2	4,0	3,6	0,4	3,0
8	3,7	3,2	3,3	0,0	2,5
9	6,8	6,3	6,3	3,6	5,5
10	4,6	4,2	3,6	0,6	3,4
11	4,6	4,0	3,9	0,6	3,5
12	5,5	5,0	4,3	1,2	3,8
13	4,0	3,6	3,0	0,1	3,0
14	5,9	4,7	4,5	1,4	4,0
15	7,1	5,7	5,7	2,7	4,3
16	4,5	4,7	3,8	0,4	3,2
17	5,2	4,8	4,3	1,1	3,5
18	4,6	3,7	3,3	0,2	3,0
19	3,9	2,7	2,3	0,0	2,1
20	4,4	6,6	3,6	0,2	3,2
∅	5,1	4,8	4,3	1,1	3,7
PVT	---	n.s.	**	***	***

Mittelwerte aus je 4 Parallelen. Die Termine entsprechen der jeweiligen Anzahl an Tagen nach Ansetzen des Gefäßversuches; PVT = Parvergleichtest von abhängigen Stichproben; signifikante Veränderungen von einem Beprobungstermin zum nächsten; (**; *** entsprechen p<1%; 0,1%); n.s. = nicht signifikant.

Tab. A15: EUF-Corg-Konzentrationen der 20°C Fraktion der bewachsenen Böden während der Versuchsdauer (mg N kg⁻¹ Boden)

Boden Nr.	Anfang 05. Mai T ₀	Aussaat 22. Jun T ₄₈	1.Schnitt 20. Jul T ₇₆	2.Schnitt 19. Aug T ₁₀₆	3.Schnitt 07. Okt T ₁₅₅
1	168,2	206,7	164,2	274,8	179,6
2	197,9	247,5	171,5	284,7	179,0
3	244,8	266,6	203,3	212,5	198,3
4	312,5	269,2	179,5	199,3	181,5
5	207,8	301,8	260,6	261,8	244,9
6	271,3	166,5	250,7	293,3	258,6
7	183,5	136,2	193,3	281,1	227,8
8	118,3	137,2	159,0	227,6	209,8
9	129,7	217,0	191,2	256,9	259,8
10	146,1	152,3	154,2	164,9	161,6
11	164,6	157,9	158,0	241,9	211,7
12	187,5	128,6	169,0	289,8	231,8
13	142,2	105,4	132,5	216,2	134,7
14	133,2	134,7	166,7	249,9	197,0
15	179,1	125,5	178,8	261,1	191,2
16	378,5	157,5	163,3	188,9	189,5
17	392,5	143,7	189,7	211,3	210,9
18	276,3	125,1	175,5	204,8	193,9
19	189,5	87,6	104,6	109,7	119,7
20	176,5	132,3	183,1	200,3	198,1
∅	210,0	170,0	177,4	231,5	199,0
PVT	---	n.s.	n.s.	***	***

Mittelwerte aus je 4 Parallelen. Die Termine entsprechen der jeweiligen Anzahl an Tagen nach Ansetzen des Gefäßversuches; PVT = Parvergleichtest von abhängigen Stichproben; signifikante Veränderungen von einem Beprobungstermin zum nächsten; (***) entspricht p<0,1%); n.s. = nicht signifikant.

Tab. A16: EUF-Corg-Konzentrationen der 80°C Fraktion der bewachsenen Böden während der Versuchsdauer (mg N kg⁻¹ Boden)

Boden Nr.	Anfang 05. Mai T ₀	Aussaat 22. Jun T ₄₈	1.Schnitt 20. Jul T ₇₆	2.Schnitt 19. Aug T ₁₀₆	3.Schnitt 07. Okt T ₁₅₅
1	78,1	63,8	66,4	77,3	68,9
2	94,0	73,0	81,0	93,4	81,5
3	102,0	90,3	85,8	99,0	94,8
4	83,9	61,6	58,3	63,2	64,7
5	103,7	98,0	98,3	102,2	96,8
6	125,4	90,5	92,5	101,4	88,2
7	74,4	77,3	76,6	84,0	73,1
8	49,4	68,6	68,4	68,1	65,7
9	77,2	118,9	130,3	135,9	126,3
10	70,5	59,7	67,5	73,4	60,8
11	92,0	78,1	79,3	98,3	80,9
12	136,0	98,3	106,1	117,1	111,0
13	68,0	57,2	67,3	75,3	64,0
14	67,4	65,2	72,9	81,9	76,5
15	138,8	95,6	103,1	105,1	105,3
16	148,4	100,0	102,5	106,5	117,8
17	152,1	107,7	106,9	111,7	109,2
18	85,5	63,2	65,1	79,9	71,6
19	58,3	39,5	36,2	45,9	38,3
20	79,9	70,1	67,4	80,8	68,2
∅	94,3	78,8	81,6	90,0	83,2
PVT	---	**	*	***	***

Mittelwerte aus je 4 Parallelen. Die Termine entsprechen der jeweiligen Anzahl an Tagen nach Ansetzen des Gefäßversuches; PVT = Parvergleichtest von abhängigen Stichproben; signifikante Veränderungen von einem Beprobungstermin zum nächsten; (*, **, *** entsprechen p<5%; 1%; 0,1%).

Lebenslauf

Name: Ardian Maçi
Geburtsdatum: 26.12 1959
Geburtsort: Tirana, Albanien
Eltern: Isuf Maçi und Ehefrau Emine geboren in Tirana
Familienstand: verheiratet, zwei Kinder

1966 - 1974 Grundschole in Tirana
1974 - 1978 Gymnasium in Tirana, Abschluß Allgemeine Hochschulreife
1978 - 1979 Praktikum auf einem Betrieb in Tirana
1979 - 1983 Studium der Agrarwissenschaften an der Landwirtschaftsuniversität in
Kamez-Tirana
Abschluß: Diplom Agraringenieur Fachrichtung Pflanzenproduktion
1983 - 1989 Auf einem Landwirtschaftsbetrieb in Mirdita, Albanien als Agraringenieur
1989 - 1992 Promotionsstudium Bodenkunde und Pflanzenernährung an der
Landwirtschaftlichen Fakultät in Tirana
Arbeit zum Thema „Auswirkung der Stickstoffdüngung auf die
Nitratanreicherung in Gemüse“
1992 - 1995 Dozent im Fachbereich Pflanzenernährung an der
Landwirtschaftsuniversität
in Tirana
Beauftragter der Landwirtschaftlichen Fakultät für die Wissenschaft und
internationale Angelegenheiten
04/95 - 04/96 Kurse in deutscher Sprache an der Kreisvolkshochschule Gießen
1996 - 1999 Anfertigung der vorliegenden Arbeit am Institut für Pflanzenernährung der
Justus Liebig-Universität Gießen
seit 10/99 Dozent im Fachbereich Pflanzenernährung an der
Landwirtschaftsuniversität
in Tirana, Albanien

Danksagung:

An erster Stelle möchte ich Herrn Prof. Dr. K. Mengel für die Überlassung des interessanten und aktuellen Themas, für das mir entgegengebrachte Vertrauen sowie die stets gewährte Freizügigkeit und sehr große Unterstützung bei der Erstellung vorliegender Arbeit ganz herzlich danken.

Mein Dank gilt Herrn Prof. Dr. P. Felix-Henningsen für die Übernahme der Begutachtung, sein Interesse an der Arbeit und die damit verbundenen wertvollen Anregungen. Ferner möchte Herrn Dr. H. Kosegarten für die Unterstützung und vor allem seine ständige Diskussionsbereitschaft sowie Herrn Dr. Th. Appel für wertvolle und konstruktive Ratschläge danken. Mein Dank gilt weiterhin Herrn Dr. E. Roco für die Hilfe bei der Durchführung des Gefäßversuches.

Den Angehörigen des Instituts für Pflanzenernährung möchte ich für die Hilfsbereitschaft und die angenehme Arbeitsatmosphäre mein Dank aussprechen. Hervorheben möchte ich die Unterstützung von Herrn R. Pfanschilling bei analytischen, technischen und sonstigen Problemen.

Der GTZ und Südzucker AG möchte ich an dieser Stelle ebenfalls meinen Dank aussprechen, nämlich für die finanzielle Unterstützung dieser Arbeit. Durch diese großzügige Unterstützung wurde mir diese Promotion erst ermöglicht.

Ein Dankeschön ganz besonderer Art geht an meine Eltern, welche mir das Studium der Agrarwissenschaften finanziell ermöglicht haben sowie an meine Frau Mimoza, die durch ihr fortwährendes Verständnis für meine mangelnde Freizeit während dieser 4,5 Jahre zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat.